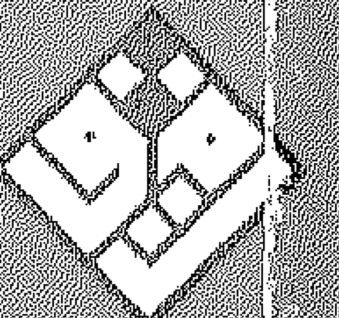




المشروع القومي للترجمة

الأراضى والجودة البيئية

تأليف

جارى م. بيرزنسكى

ج. توماس سمس

جورج ف. فانس

ترجمة وتقديم

محمد السيد النمر

470

اهداءات ٢٠٠٤

المجلس الأعلى للثقافة
القاهرة

المشروع القومى للترجمة

الأراضى والجودة البيئية

تأليف

جارى م. بيرزنسكى

ج. توماس سمس

جورج ف. ڤانس

ترجمة وتقديم

محمد السيد النته



٢٠٠٣

المشروع القومى للترجمة

إشراف : جابر عصفور

- العدد : ٤٧٠
- الأراضى والجودة البيئية
- بيرزنسكى وآخران
- محمد السيد النته
- الطبعة الأولى ٢٠٠٣

الترجمة الكاملة لكتاب :

SOILS AND ENVIRONMENTAL QUALITY

تأليف : **GARY M. PIERZYNSKI**
J. THOMAS SIMS
GEORGE F. VANCE

الناشر : **LEWIS PUBLISHERS,**
Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 1994.

شارع الجبلاية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo
Tel : 7352396 **Fax :** 7358084 **E. Mail :** asfour @ onebox. com

تهدف إصدارات المشروع القومي للترجمة إلى تقديم مختلف الاتجاهات والمذاهب الفكرية للقارئ العربي وتعريفه بها ، والأفكار التي تتضمنها هي اجتهادات أصحابها في ثقافاتهم ولا تعبر بالضرورة عن رأي المجلس الأعلى للثقافة .

إهداء المترجم

إلى النور الذى أضاء حياتى
إلى من دفعتنى إلى هذا العمل
إلى زوجتى دكتورة فاطمة إسماعيل
تحية حب وتقدير وعرفان
وإلى أولادى
هانى وياسر وهبه
تحية حب وتشجيع وإعزاز

محمد السيد اللنه

إهداء المؤلفين

إلى :

Garrison, Jeanne, and Joy

Connie, Amy, Ethan, and Katy

Christy, Emily, and Maureen

والذين بفضل حبهم، وصبرهم، ودعمهم

أصبح هذا الكتاب حقيقة.

المحتويات

الفصل الخامس : فوسفور التربة والجودة البيئية

الفصل العاشر : الغلاف الجوي: تغير المناخ والترسيب الحامضي

الفصل الحادي عشر : تقويم الخطر

مقدمة المترجم

يبلغ عمر الاهتمام بالبيئة فى الولايات المتحدة حوالى أربعين عامًا لو اعتبرنا أن كتاب «الربيع الصامت» لراشيل كارسون عام ١٩٦٢ بداية اهتمام الجمهور بالبيئة على نطاق واسع؛ حيث تنبأت المؤلفة بأنه سوف يأتى ربيع على الأرض لا تسمع فيه شقشقة العصافير، ولا زقزقة الطيور، ولا تغريد البلابل بسبب التلوث بالمواد الكيميائية ، وهذه الكيماويات منتشرة فى البيئة التى نعيش فيها، ونتعرض لها يوميًا فى حياتنا. ومما لاشك فيه أن عمر الاهتمام بالبيئة فى الدول النامية أقل بكثير عن نظيره بالولايات المتحدة، وثمة مقارنة أخرى تستحق الذكر ، وهى أن الاهتمام بالبيئة فى الولايات المتحدة تعدّى مرحلة الكلام ، ووصل إلى مرحلة الفعل والتنفيذ ، وتَمثّل هذا فى وكالة حماية البيئة الفيدرالية والوكالات الأخرى المناظرة لها فى الولايات المختلفة، فى حين أن الاهتمام بالبيئة فى بلاد كثيرة مازال فى مرحلة الكلام .

وفيما يلى باختصار حيثيات ارتباط الأراضى بجودة البيئة:

* المواد العديدة التى تعتبر ملوثات يحدث لها تدوير خلال الأراضى.
* كثير من المواد التى تستخدم فى الإنتاج الزراعى كالأسمدة والمبيدات يمكن اعتبارها ملوثات.
* التربة نفسها يمكن أن تكون مصدراً للتلوث.
* تتفاعل الأراضى مع الدورة الهيدرولوجية والغلاف الجوى، وتعمل كمصدر للمكونات العديدة الموجودة فى الماء والهواء، أو كبالوعة لها.

* يهتم علماء الأراضي بكل من الأمور الزراعية والأمور الحضرية على قدم المساواة.

* تستقبل الأراضي - بقصد أو بدون قصد - موادَّ كثيرة ليس لها أي ارتباط بالإنتاج الزراعي ، ونتيجة لذلك تتكون الأراضي الملوثة.

* نحن لانزال غير مدركين لحجم ومشكلة الأراضي الملوثة، وسوف يستمر اكتشاف المزيد من الأراضي الملوثة، وسوف يستمر أيضًا نشأة وتكوين أراضٍ ملوثة.

ويعتبر علم الأراضي فرعًا معرفيًا مفيدًا لكل من يدرس البيئة ، ولكي تتحقق الدراسة الجيدة للبيئة، على المرء أن يكون على معرفة جيدة بالأراضي، والهيدرولوچي، وكيمياء الغلاف الجوي، وتصنيف الملوثات. وهو مايقدمه هذا الكتاب. ويلي ذلك مناقشات مستفيضة عن دور الأراضي في التدوير البيوجيوكيميائي لكل من: النتروچين، والفوسفور، والكبريت، والعناصر النادرة، والكيماويات العضوية، وغازات الصوبة، ومكونات الترسيب الحامضي. ويشرح الكتاب أيضا التفاعلات بين هذه الملوثات الخطيرة وكل من الأراضي، والبيئة المائية، والغلاف الجوي. ولقد تم مناقشة الأساليب المختلفة لعلاج الأراضي الملوثة، وكذلك تم مناقشة تقويم الخطر الناتج عن استخدام المبيدات في مياه الشرب أو عن تلوث الأراضي بواسطة العناصر النادرة الموجودة في المخلفات العضوية التي تضاف إليها.

وفي النهاية، أتوجه بالشكر إلى المجلس الأعلى للثقافة الذي بفضله خرج هذا العمل للوجود ، وأصبح حقيقة.

وما توفيقي إلا من عند الله

أ.د. محمد السيد النته

تصدير المؤلفين

تعتبر جودة البيئة التى نعيش فيها محصلة لكل من الظواهر الطبيعية ونشاط الإنسان، وتمثل الأراضى حلقة التداخل بين نشاط الإنسان ومكونات البيئة التى نرغب فى المحافظة عليها. وعلى ذلك يعتبر فهم خواص الأراضى وتفاعلاتها مُهماً فى تقويم كيفية سلوك الملوّثات العديدة والعناصر الغذائية الضرورية فى بيئة التربة، وكذلك تلعب الأراضى دوراً مهماً فى تحديد جودة البيئة؛ حيث يمكن أن تكون مصدراً العديد من الملوّثات، أو بالوعة لها، أو وسطاً للتفاعل معها، وبالتالى فإن الإدارة السليمة للأراضى تمثل خطوة مهمة فى المحافظة على جودة البيئة وتحسينها.

بدايةً، نقدم فى هذا الكتاب، فكرة شاملة عن مبادئ علوم الأراضى، والهيدرولوجى، وكيمياء الغلاف الجوى، وتصنيف الملوثات، ويلى ذلك مناقشات مستفيضة عن دور الأراضى فى التدوير البيوجيو كيميائى للعناصر الكبرى والمركبات المهمة بيئيا، كما نقدّم أيضا مناقشة عميقة لعناصر النتروچين، والفوسفور، والكبريت، والعناصر النادرة، والكيماويات العضوية، وغازات الصوبة، والمطر الحامضى، وكذلك نقدم إيضاحًا لتفاعلات هذه الملوثات الخطيرة مع كل من الأراضى، والبيئة المائية، وبيئة الغلاف الجوى. ولقد ذكرنا أيضا طرق إدارة الأراضى أو طرق استصلاحها التى تقلل تلوث البيئة إلى أدنى درجة أو تمنعه تماما، كما تم حصر ومراجعة الأخطار الناتجة عن استخدام أمثلة عديدة معاصرة مثل تركيزات المبيدات فى مياه الشرب أو تلوث الأراضى بالعناصر النادرة الموجودة فى المخلفات العضوية.

لقد تم إعداد كتاب «الأراضى والجودة البيئية» ليكون كتاباً جامعيًا للمستوى المتقدم لمساق «الأراضى والبيئة» لطلاب مرحلة ماقبل التخرج. ولقد أُعدّ الكتاب بمستوى يتطلب من القارئ أن يكون لديه معرفة بمبادئ علم الكيمياء، ونعتقد أنه بإضافات مناسبة يمكن أن يستخدم هذا الكتاب أيضا كأساس لمقرر دراسات عليا، كما يمكن أيضًا للأفراد المهتمين بدراسات الأراضى، وهندسة البيئة، والغابات، وعلم البيئة، والبيولوچى، والچيولوچيا ، والجغرافيا أن يستفيدوا من هذا الكتاب.

الفصل الأول

مقدمة فى الجودة البيئية

١ - ١ تمهيد :

يمكن معالجة موضوع الجودة البيئية من وجهات نظر عديدة ؛ فالمهندسون، والجغرافيون، والمعماريون، والمحامون، ورجال الأعمال، وأخصائيو الرعاية الصحية، والبيولوجيون، والجيولوجيون، وغيرهم، يمكن أن تكون لهم جميعًا اهتمامات معينة بالجودة البيئية. ويعرض هذا الكتاب وجهة نظر علماء الأراضى فى الجودة البيئية، ذلك لأن لعلماء الأراضى ميزة فريدة - لا نظير لها - فى هذا الموضوع بسبب أن المواد العديدة التى يمكن اعتبارها ملوثات يحدث لها تدوير خلال الأراضى، كما أن كثيرا من المواد المستخدمة فى الإنتاج الزراعى يمكن اعتبارها ملوثات، كما تتلوث التربة غالبا بمواد عديدة لا تستخدم فى عملية الإنتاج الزراعى. بالإضافة إلى أن التربة نفسها يمكن أن تكون مصدرا للتلوث، وتتفاعل الأراضى أيضا مع الدورة الهيدرولوجية والغلاف الجوى بالعمل كمصدر للمكونات العديدة الموجودة فى الماء والهواء أو كبالوعة لها.

ولكى نفهم جيدا العلاقة بين إنتاج الغذاء والجودة البيئية، فلنفكر فى مسألة صناعة «سلعى» وهى منتج غير محدّد يستخدمه طلبة التّجارة - بصفة متكررة - فى تعليمهم ؛ فإذا أدّى إنتاج هذه السلعة إلى خطر غير مقبول للبيئة، حينئذ يمكن للمجتمع أن يقرر أن يستمر ويتقدم بدون إنتاج هذه السلعة، وبالطبع فإنه لا يمكن اتخاذ القرار نفسه بالنسبة للغذاء ؛ لأننا يجب أن نستمر فى إنتاجه، ولذلك يجب على المجتمع أن يتحّمل المسئولية تجاه المواد الضارة المستخدمة فى الإنتاج الزراعى، كما

ينبغى ملاحظة أن استخدامنا لكلمة «مجتمع» من الناحية المثالية، تعنى أنه يجب على جميع أفراد المجتمع استيعاب وفهم العمليات الأساسية لإنتاج الغذاء بما فى ذلك الأخطار الناتجة مقابل الفائدة العائدة المرتبطة بالمدخلات.

إن عمل علماء الأراضى لا يقتصر على حدود يفرضها علم الزراعة، وذلك لأن علماء الأراضى يهتمون بكل من الأمور الزراعية والحضرية على قدم المساواة. وبعيداً عن ميدان إنتاج الغذاء، فإننا يجب أن نعرف أنه طالما أن المواد الضارة تُخزّن، وتُنقل، وتُستخدم، أو تُنتج كنواتج ثانوية، فإن الفرصة ستسمح بانطلاق عَرَضِىّ (غير مقصود) لهذه المواد فى البيئة ؛ حيث لا يوجد مجتمع خال من الأخطار.

وسوف نجد فى ثنايا نصوص هذا الكتاب أن الأراضى تستقبل - بقصد أو بدون قصد - موادَّ كثيرة ليس لها أى ارتباط بالإنتاج الزراعى، ونتيجة لذلك تتكوّن الأراضى الملوثة. وفى جميع الظروف، فنحن لا نزال غير مدركين لحجم مشكلة الأراضى الملوثة، وسوف يستمر اكتشاف المزيد من الأراضى الملوثة، ولسوء الحظ فإنه سوف يستمر أيضا نشأة وتكوين الأراضى الملوثة.

١ - ٢ مذهب الاهتمام بالبيئة :

قد يبدو أن الجودة البيئية موضوع جديد ، ولكن الواقع يشير إلى أن هذا الكتاب عن الجودة البيئية ماهو إلا اهتمام متجدد بموضوع قديم، وفى عصرنا الحديث، فإن مذهب الاهتمام بالبيئة يبلغ عمره حوالى ثلاثين سنة إذا اعتبرنا مؤلَّف **«الربيع الصامت»** لراشيل كارسون Rachel Carson المنشور عام ١٩٦٢ بداية اهتمام الجمهور بالبيئة على نطاق واسع، ويبلغ عمر وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة، والمعروفة باسم EPA ، حوالى عشرين سنة، وهو أيضا العمر نفسه لعدد من المجلات العلمية التى تعالج الغرض نفسه وتنشر نتائج الأبحاث البيئية، وكذلك كان العيد السنوى العشرون لـ «يوم الأرض» عام ١٩٩٠، وهناك عاملان مسؤولان عن تجديد هذا الاهتمام بحماية البيئة: **الأول** : أننا أصبحنا على دراية متزايدة بأن التعرض للمواد

المختلفة قد يقلل من عمر الإنسان، وأن السلوك الطبيعي هو أن نُحدّ أو نقلل من استخدامنا للمواد التى نتوقع أن تكون لها تأثيرات عكسية ضارة بصحة الإنسان، **والآخر** : أن إمكانيات التحليل الكبيرة المتاحة حاليا تسمح بمعرفة أكثر دقة للبيئة التى نعيش فيها، عن طريق مايمكن اكتشافه وعند أى حدود (تركيزات) يكون الاكتشاف.

وبالنسبة لموضوع البيئة، فهناك طريقة فلسفية تُصنِّف سلوك الأفراد فى فئات ثلاث هى:

- **فئة الفرد الأنَوِى «الأنَوِيَّة»:** وهى التى تكون فيها أفعال الفرد الشخصية موجهة لمصلحة الفرد نفسه فقط.
- **وفئة الفرد الإنسانَوِى:** وفيها يمتد اهتمام الفرد إلى الجنس البشرى.
- **وفئة الفرد المهتم بالبيئة:** وفيها يكون جل اهتمام الفرد بالبيئة ككل.

ومع كل دورة خاصة بالاهتمام بالجودة البيئية يرتقى سلوك الأفراد – ببطء – من الاهتمام فقط بمصلحة الفرد نفسه (الأنَوِيَّة) إلى مواقف أكثر اهتماماً بالقضايا البيئية.

لقد أصبح مذهب الاهتمام بالبيئة حركة اجتماعية، وأوضح إريك هوفر Eric Hoffer فى كتابه **«المؤمن الصادق»** مراحل ثلاث للحركات الاجتماعية، وتسمى المرحلة الأولى **«مرحلة المتكلمين»**، وفى هذه المرحلة يتم مناقشة الحركة الاجتماعية عن طريق المناظرات التى تقوم بين قطاع صغير من المجتمع تسمى أفراده عادة بالعقلانيين. وفى نهاية المرحلة الأولى يتم وصف تلك الحركة الاجتماعية فى مقالات عديدة. ولقد تم إدراج راشيل كارسون Rachel Carson ضمن فئة المتكلمين هذه. والمرحلة الثانية تسمى **«مرحلة التعصب»**، وهى تتسم بزيادة وعى المجتمع بالحركة الاجتماعية ذات الاهتمام بالبيئة، وذلك من خلال أفعال عديدة غير قانونية تجذب الانتباه، يقوم بها مؤمنون متحمسون لها، وقد تشمل مرحلة التعصب البيئى وسائل عديدة لإيقاف إنتاج صناعة ما يُعتقد أنها تُلوث البيئة (مثل التخريب المتعمد للممتلكات العامة أو الخاصة)، أو قد تشمل أفعالاً عنيفة مثل القذف بالقنابل أو خطف

الأشخاص، وتسمى المرحلة الثالثة والأخيرة **مرحلة أصحاب المواقف العملية**، ويسميها البعض بأنها **مرحلة إقامة مؤسسات أو جمعيات العناية بالبيئة**. وفى هذه المرحلة يوجد وعى واسع الانتشار ومساندة كبيرة لتلك الحركة الاجتماعية المهتمة بالبيئة. ويستخدم المعارضون الأفعال والوسائل القانونية من أجل تقليل العنف، وقد تُستخدم المقاطعات المنظمة، على سبيل المثال، وقد تتشكل جمعيات أو حتى وكالات للغرض نفسه، كما تسود المواقف التى تركز على الاهتمام بالبيئة، ويلخص إيريك هوفر (١٩٥١) هذا بقوله: «لقد مَهَّد المتكلمون لتلك الحركة الاجتماعية، وقام المتعصبون بتجسيدها، وقام العمليون بتوحيدها وتقويتها».

لقد حدث لمذهب الاهتمام بالبيئة تقدم واضح فى الولايات المتحدة، ووصل هذا التقدم إلى مرحلة إقامة الموسسات أو المنظمات متمثلة فى وكالة حماية البيئة الفيدرالية، ووحدات الحكومة المقابلة فى كل ولاية، ومن خلال الاهتمام بالبيئة هناك باستمرار موضوعات سوف تظهر، وستعالج من خلال إحدى مراحل الحركة الاجتماعية أو جميعها. والمحاولات الحديثة التى قام بها بعض أعضاء الجماعات البيئية لمنع مرور سفن صيد الحيتان تعتبر مثالا للتعصب، وتعتبر مسألة تغير المناخ العالمى بسبب زيادة تركيز غازات الصوبة فى الغلاف الجوى حالة متأخرة فى مرحلة المتكلمين وليس لها - بعد - أية إشارة فى مرحلة التعصب.

١ - ٣ دراسة البيئة : المنهج العلمى :

يُوفِّر **المنهج العلمى** مجموعة من القواعد باتباعها تستطيع الفرق العلمية أن تقوم بعمل أبحاثها ؛ فيتم عمل تصميم التجارب، وجمع البيانات وتفسيرها بطريقة منهجية وموضوعية. وليس هناك اتفاق حول تعريف المنهج العلمى فيما يتعلق باتباع الخطوات نفسها فى كل بحث علمى. غير أن هناك بعض العوامل المشتركة فى جميع الأبحاث ينبغى توافرها قبل الموافقة على إجراء دراسة معينة بواسطة الفريق العلمى.

يمكن استخدام عملية الاستدلال البسيطة لشرح المنهج العلمى . والخطوة الأولى هى **الملاحظة** ، وهى ببساطة يمكن أن تكون ملاحظة النمو الهزيل

للنبات أو التركيز المتزايد لأحد المعادن الثقيلة فى عينة تربة، ويمكن تنفيذ الملاحظة بأىٍّ من الحواس الخمس أو باستخدام الآلات والأجهزة العلمية المتطورة التى تعزز حواسنا، ويجب التأكد من صحة الملاحظات، كما يجب أن يكون الباحثون قادرين على إعادة الظروف المصاحبة للملاحظة والحصول على النتائج نفسها. وإذا تم استخدام تقنيات واختبارات بديلة فى إثبات صحة الملاحظات، فإن هذا يضيف المزيد من التأكد والصحة لها ؛ حيث إن الملاحظات التى تصمد لاختبارات الإثبات تصبح مقبولة كحقائق علمية.

كما يتضمن إجراء الملاحظات وإثبات صحتها مقداراً كبيراً من العلم يعطينا معلومات نافعة، إلا أن الملاحظات البسيطة لا تفسر الآليات التى سبّبت التأثير الذى تمت ملاحظته ؛ فعلى سبيل المثال، إضافة رماد الفحم للتربة بمعدلات كبيرة جدا يمنع نمو النبات ، وهذه ملاحظة حقيقية ؛ أى ثبت صحتها؛ فرماد الفحم يمكن أن يغير رقم حموضة التربة (pH) كما أنه يحتوى على بورون وأملاح ذائبة، ويمكن لأى منها أن يمنع نمو النبات. الخطوة الثانية فى المنهج العلمى هى **تشكيل أو صياغة الفروض العلمية واختبار هذه الفروض بتجارب موجهة**. والفرض عبارة عن تفسير معقول للملاحظة المقبولة تجريبيا، والتى تفيد كأساس للأبحاث التالية. والتجارب الموجهة تجارب متكررة تكون فيها جميع العوامل ثابتة باستثناء العامل المتعلق بالسؤال ؛ ففى حالتنا هذه فإن «عنصر البورون فى الرماد المتطاير يمنع نمو النباتات عند إضافة الرماد إلى التربة»، يعتبر هذا الفرض معقولاً، ويمكن تصميم تجربة مناسبة لتحديد ما إذا كان الفرض صحيحا أو خطأ، كما يمكن تحقيق تقدم بصرف النظر عن نتائج التجربة إذا كنا على علم بأن البورون أو غيره هو الذى يعوق نمو النبات؛ فإذا كان الفرض صحيحا، فإن الخطوة المنطقية التالية ستكون هى السؤال: لماذا يعوق البورون نمو النبات؟ وهكذا تستمر العملية.

ويعتبر تكرار المعاملات فى التجارب الموجهة نقطة مهمة ؛ فالتكرار يوفر وسيلة لتحديد ما إذا كان تأثير المعاملات حقيقيًا (معنويًا إحصائيًا) أو يرجع إلى المصادفة (غير معنوى إحصائيا). وكلما زاد التكرار تأكد الباحث من ظهور تأثير المعاملات أو عدم ظهوره.

وهناك بعض الأبحاث العلمية لا تخضع للتجارب الموجهة، مثل دراسات الصحة البشرية؛ فقد يلاحظ الأطباء أن المرضى بنوع معين من السرطان قد تعرضوا لمادة كيماوية معينة، ولكنهم لا يستطيعون اختبار الفرض المناسب بتنفيذ تجارب موجهة توجيها مباشرا على البشر. غير أن دراسات علم الأوبئة يمكن أن تكون مفيدة فى مثل هذه الظروف **(التى يتعذر فيها تنفيذ تجارب على البشر)**؛ فعلم الأوبئة (الإبيديميولوجيا) هو علم دراسة حدوث أو عدم حدوث المرض بين السكان بدون الاستعانة بالتجارب الموجهة؛ إذ لو أمكن تحديد ومعرفة مجموعات المقارنة (المتماثلة فى العمر، والجنس، ... إلخ) التى تعرضت لمستويات مختلفة من المادة الكيميائية محل السؤال، فحينئذ يمكن عمل مقارنات إحصائية لتكرار حدوث المرض بين المجموعات المتماثلة. إن دراسات علم الأوبئة ليست حاسمة مثل التجارب الموجهة، ويمكن أن يؤدى هذا إلى بعض التصريحات العجيبة، مثلما حدث ودافعت شركات التبغ عن نفسها بحجة أنه لم يثبت بدرجة حاسمة أن استخدام منتجات التبغ تسبب السرطان. ونستطيع أن نقول من الناحية الفنية إنهم على صواب ؛ حيث لم يتم عمل تجارب موجهة على البشر. وعلى العكس من ذلك يستشهد مسئولو الصحة بدراسات علم الأوبئة التى تظهر ارتباطًا قويًا بين استخدام التبغ ومدى تفشى مرض السرطان.

ومعظم الدراسات العلمية تنتهى عند هذه النقطة. وبين الحين والآخر تظهر نظرية تحاول أن تفسر عدداً كبيراً من الملاحظات أو الحقائق، أو تتنبأ بها، مثل نظرية التطور. وعن طريق افتراض الفروض يمكن اختبار مدى صدق هذه النظريات. وفوق ذلك، هناك القوانين الطبيعية والمبادئ الأساسية ، والتى لم نلاحظ حدوث استثناءات لها ، والأمثلة على ذلك كثيرة مثل قانون الجاذبية وقانون بقاء الطاقة.

ويعتبر **نشر نتائج الأبحاث العلمية** فى مجلات محكمة جزءًا متممًا للمنهج العلمى؛ فتبدأ العملية بتسليم مخطوط البحث إلى محرر المجلة الذى يرسلها بدوره إلى عدد من المحكّمين. يقوم المحكمون بتقويم البحث من حيث تميزه، ومدى التزامه بالمنهج العلمى، ودقة التحليل الإحصائى، وجودة الكتابة، والقوة العلمية ككل قبل الموافقة على النشر فى المجلة ، بعدئذ يظهر المخطوط فى المجلة؛ وللقارئ مطلق الحرية فى أن يقبل النتائج، أو يتحداها، أو يحاول إثبات صحتها. لنتذكر معًا الاهتمام الحديث بفكرة

الانصهار من غير تسخين (على البارد). فى هذه الحالة، حدث انتشار واسع لنتائج التجربة قبل أن تأخذ دورها من خلال عملية النشر. وقد نشأت ضجة كبيرة من قبل وسائل الإعلام والحكومة بسبب العواقب بعيدة المدى للانصهار بدون تسخين، وعندما نشرت تفاصيل التجربة لم يستطع أحد أن يتأكد من إثبات صحة النتائج، ووقع الباحثون ومعاهدهم العلمية فى الكثير من الحيرة والارتباك.

ولعلنا ندرك مدى أهمية المنهج العلمى خاصة أن المسائل المتعلقة بالبيئة يمكن أن يتم اتهامها بطريقة انفعالية ؛ لأنها يمكن أن تؤثر على صحة الإنسان والحيوان، وتستلزم مبالغ مالية كبيرة، كما أن القرارات والأفعال القائمة على معلومات ناقصة يمكن أن تؤدى إلى جهود وأموال مفقودة هباءً، وسن تشريعات غير ضرورية، ولكى تكون موضوعيا يجب أن تُقوِّم المعلومات، ويجب أن تعرف مصادرها وعما إذا كانت تلك المعلومات نتيجة منهج علمى أو لا؟ ويجب أيضا أن تتحقق من المعلومات التى من الجائز أن تكون مغرضة بسبب المصالح الشخصية والأغراض العاطفية ؛ فالمنهج العلمى يوفر الآلية التى عن طريقها يستطيع الباحث أن يواصل الحصول على المعرفة بصورة نزيهة.

١ - ٤ العلم البيئى والجمهور :

إن المجتمع هو المسئول فى النهاية عن البيئة ؛ فهو الذى ينتخب الجماعات التى تصدر التشريعات البيئية وتقرر الضرائب التى ستنفق على الأبحاث البيئية. وبالرغم من ذلك، فإن المسؤولية ليست واضحة المعالم بسبب وجود مؤثرات كثيرة معقدة ؛ فالتشريعات البيئية تؤثر بطريقة مباشرة على الصناعات التى توفر بدورها فرص عمل للمجتمع، كما أن تكلفة خضوع واستجابة المؤسسات الخاصة والوحدات الحكومية للتشريعات البيئية سوف ينعكس على المستهلكين من خلال ارتفاع الأسعار والضرائب، وتتجه هذه المؤثرات نحو إضعاف التشريعات البيئية، وعكس هذا الاتجاه هو خوف الناس على أنفسهم من تأثير الملوثات، بالإضافة إلى زيادة تقديرهم للبيئة التى يعيشون فيها.

وتلعب وسائل الإعلام دوراً عن طريق نقل المعرفة من الفرق العلمية إلى الجمهور؛ فإذا كان للفريق العلمى كيان منظم، ويتفق أعضاؤه دائما على أن المعلومات التى تنشر فقط هى التى يتم تقويمها بدقة بالغة، فبذلك سيتأكد الجمهور من أنه سوف يتلقى فقط المعلومات الموثوق فيها. وهذا بالطبع ليس الحال ؛ لأن الإعلام يذيع المعلومات الشيقة للمشاهدين مشترطا أن تأتى المعلومات من مصدر موثوق به. ويعطى الإعلام اهتماما أقل إذا كانت المعلومات ناتجة بالكامل عن المنهج العلمى أو عن جزء منه ، وينبغى أن ننتبه للفرق بين **الحادثة البيئية والمسألة البيئية** ؛ فالحادثة البيئية هى حدوث حدث مهم مرتبط بالبيئة، بينما المسألة البيئية هى موضوع أو سؤال مرتبط بالبيئة سيناقش أو يتخذ قرار بشأنه ؛ فسقوط (انسكاب) مادة كيميائية حادث بيئى بينما الاستجابة لسقوط المادة الكيميائية، والتى قد تتضمن أفعالاً يجب اتخاذها لمنع المزيد من السقوط، تعتبر مسألة بيئية. ويجب أن يتسم إعداد تقارير عن المسائل والحوادث البيئية بالموضوعية، غير أن الموضوعية يتم تسويتها والتوصل فيها إلى حل وسط فى الغالب عندما تختص بالمسائل البيئية. مرة أخرى، فإن القدرة على تقويم المعلومات هى المفتاح للفهم الكامل للشئون البيئية.

بالإضافة إلى الجوانب الفنية المتضمنة فى دراسة علاقة الأراضى بالجودة البيئية، فهناك موضوع ذو أهمية متزايدة هو تقويم الخطر ؛ فالخطر هو فرصة حدوث ضرر، أو خسارة، أو تدمير. وفى مجمل سياق العلم البيئى، فإن تقويم الخطر هو العملية المستخدمة للتقدير الكمى للمخاطر المرتبطة بتعرض أى كائن إلى مواد مختلفة فى البيئة. وتقويم الخطر يمكن أن يوفر المعلومات الأساسية للتشريعات البيئية، ومع ذلك فإن هذه المعلومات يمكن تجاهلها إذا أراد المجتمع ذلك.

١ – ٥ ملخص :

عندما يقوم المرء بدراسة العلم البيئي، فإن جزءاً من مهمته أن يصبح عالمًا بالنواحى الفنية مثل: المنهج العلمى، والمصطلحات، والعمليات، كما أن جزءاً من مهمته أيضا هو الالتزام بالموضوعية، وبالأساليب الفلسفية، كما يقدر أيضا تلك الأسئلة

الخاصة بالجوانب الأخلاقية اللازمة للوصول إلى فهم كامل للمسائل البيئية. وتلعب الأراضي دوراً رئيسياً في تدوير الكثير من الملوثات البيئية ؛ ويعتبر علم الأراضي فرعاً معرفياً مفيداً لكل من يدرس البيئة ، ولكي تتحقق الدراسة الجيدة للبيئة ، على المرء أن يكون على درجة من الفهم الجيد للأراضي، والهيدرولوچي، والغلاف الجوي ، وهو ماسيحاول هذا الكتاب أن يقدمه ، وسوف يتم بعد ذلك تعريف الأقسام الرئيسية لملوثات الأراضي، ويليها مناقشة تفصيلية لكل منها، وسيتناول الفصل الأخير تقويم الخطر وعلاقته بالأراضي.

المراجع

Hoffer Eric, The True Believer. Thoughts on the Nature of Mass Movements, Harper & Row, New York, 1951.

Rousseau, D.L., Case Studies in Pathological Science, Am. Sci., 80, 54, 1992.

الفصل الثانى

بيئتنا: الغلاف الجوى، الغلاف المائى، الأراضى

٢ – ١ مقدمة :

تحتوى بيئتنا على مواد طبيعية تمنحنا مقومات الحياة ؛ فالحياة – كما نعرفها – تتطلب عناصر غذائية، ومياهًا، وأكسجين. وتتوفر مقومات الحياة عن طريق الهواء الذى نتنفسه، والسوائل التى نشربها، والغذاء الذى نأكله، كما يحتوى الغلاف الجوى على الغازات الضرورية مثل: الأكسجين، وثانى أكسيد الكربون، والنتروجين ، وهى مواد مطلوبة من أجل استمرارية وجودنا. ويأتى الماء الذى نشربه من الموارد المائية السطحية والأرضية، وجميعها يتم تدويرها على مدار ملايين السنين التى نشأت خلالها الأرض، ويعتمد إنتاج المحاصيل اللازمة لاستهلاك الإنسان والحيوان على مقدرتنا فى حرث وبذر وزراعة أراضينا.

وسوف نناقش – فى هذا الكتاب – أهمية الجودة البيئية وعلاقتها بصحة الإنسان والحيوان والنبات، وكذلك أيضا سنناقش علاقتها بالنواحى الجمالية. وعندما نناقش الصفات الأساسية والسامة للعناصر والكيماويات المختلفة؛ فإنه من الضرورى أن نتعرف على الظروف البيئية التى توجد فيها. وهناك قاعدة تعنى أن **التيسر الحيوى** لهذه العناصر والمواد السامة (توكسينات) يمثل النقطة الحرجة فى هذه العلاقة. والمقصود بالتيسر الحيوى هو مقدار ماتسببه المادة الكيميائية فى البيئة من تأثير سلبى أو إيجابى على كائن معين ، وعلى ذلك يكون التيسر الحيوى دالة للأصناف

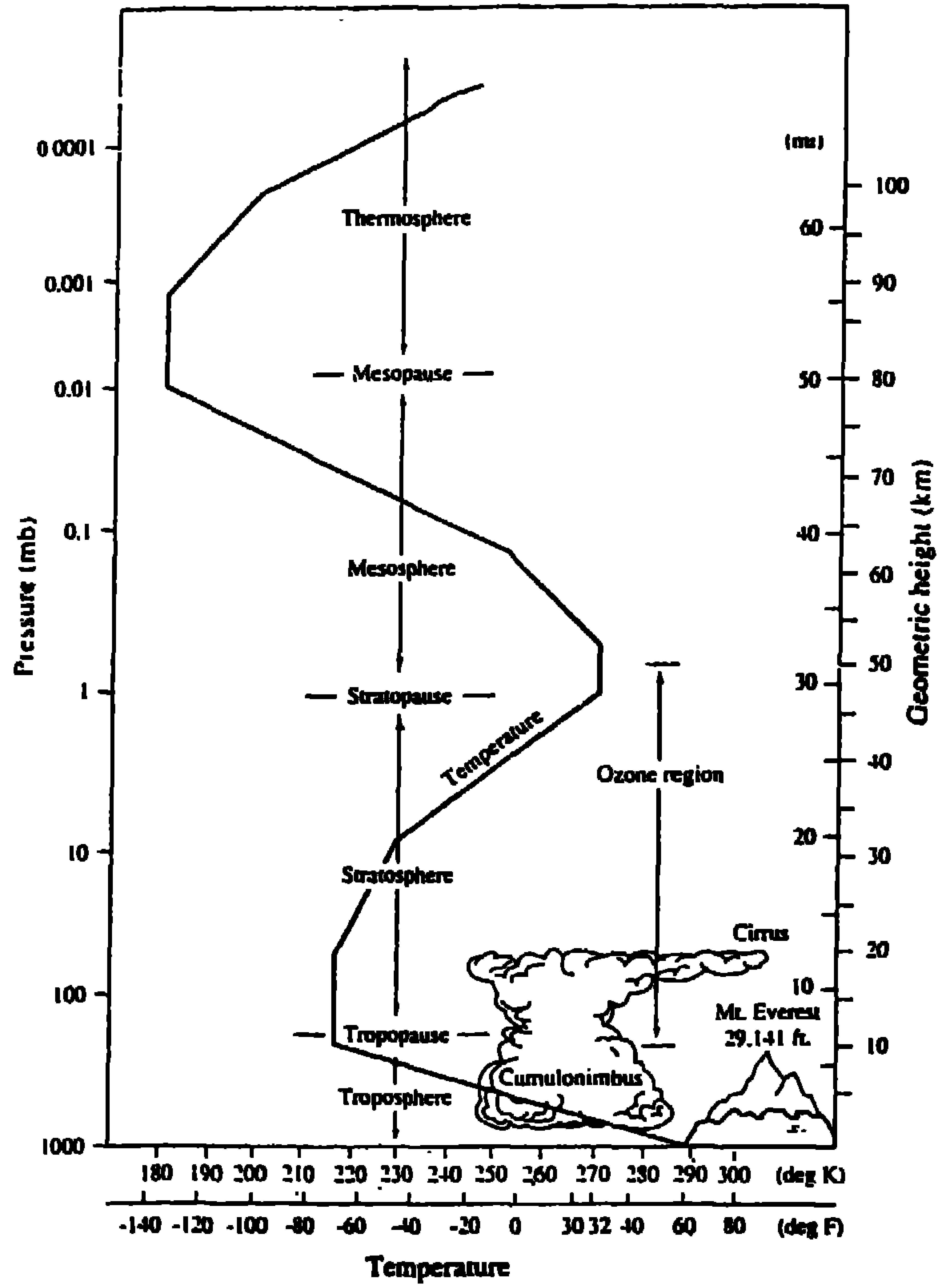
الكيمائية الموجودة، ومقدرة الكائن الحى على أن يمتصها بسهولة أو يتناولها كغذاء، وكذلك تأثير هذه الأصناف الكيميائية على الكائن. وهناك قاعدة أخرى تستحق أن نذكرها فى هذا المجال، وهى قاعدة **التراكم الحيوى**. والمقصود بالتراكم الحيوى هو العملية التى يقوم فيها الكائن الحى بتجميع عنصر ما أو مادة ما بمجرد امتصاصها أو تناولها كغذاء. وفى بعض الحالات يقوم الكائن بتجميع العنصر داخل جسمه بمقدار ثلاثة أو أربعة أو حتى خمسة أضعاف التركيز الموجود به العنصر فى البيئة التى يعيش فيها الكائن.

وسوف يتناول هذا الفصل دراسة الصفات المميزة للغلاف الجوى، والغلاف المائى، والأراضى ، وهى مكونات بيئتنا حيث يُعدُّ الفهم الجيد لهذه الأنظمة حاسمًا وضروريًا فى تقويم جودة البيئة.

٢ - ٢ الغلاف الجوى :

نحن نعيش فى عصر يزداد فيه الاهتمام بجودة الغلاف الجوى ، وذلك بسبب الزيادة فى كميات الملوثات التى تضاف يوميًا إلى الهواء الجوى. وتُعدُّ جودة الغلاف الجوى فى درجة الأهمية نفسها التى تشغلها جودة المياه وجودة الأراضى ؛ حيث يحيط الغلاف الجوى بالكرة الأرضية على عكس الأراضى والمياه ، ولهذا السبب فإن الغلاف الجوى يلعب دورًا مهمًا فى عمليات انتقال العناصر والملوثات.

ويتكون الغلاف الجوى من عدة طبقات (**التروبوسفير، ستراتوسفير، ميزوسفير، ثرموسفير**) ولكل منها خصائصها المميزة. ومن بين الطبقات الأربع السابقة سوف نقوم فقط بدراسة طبقتى التروبوسفير والستراتوسفير اللتين تكونان الجزء السفلى من الغلاف الجوى (صفر - ٥٠ كم)، وذلك راجع إلى أهمية التروبوسفير فى العمليات البيوجيوكيميائية وأهمية دور الستراتوسفير فى انتقال بعض المواد على مستوى العالم وفى كيمياء الأوزون.



شكل ٢ – ١ تغيرات الضغط ودرجة الحرارة فى المناطق المختلفة للغلاف الجوى.

(Schlesinger, 1991.)

ويُبيِّن شكل رقم ٢ – ١ توزيع درجات الحرارة والضغط فى الجزء السفلى من الغلاف الجوى، ومنه يتضح أن الضغط الجوى دالَّة لوغاريتمية تقريبية للارتفاع ؛ فهو يقل بالارتفاع عن سطح البحر.

وتختلف درجة حرارة الهواء الجوى بدرجة كبيرة باختلاف الزمن (اليوم، وفصول السنة)، وخط العرض، وخط الطول، وتأتى حرارة الهواء الجوى من الإشعاع الحرارى المنعكس والمنبعث من سطح الأرض ، وهذا هو السر فى أن درجة حرارة التروبوسفير تنقص مع الارتفاع ، بينما يسبب امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بواسطة الأوزون فى طبقة الستراتوسفير زيادة فى درجة الحرارة مع الارتفاع. وتُسمَّى الطبقة الفاصلة بين التروبوسفير والستراتوسفير بطبقة التروبوبوز ، وهى منطقة ذات درجة حرارة منخفضة تعمل كحاجز وقائى تمنع فُقْدان الماء إلى طبقة الستراتوسفير حيث يمكن أن يتحلل فيها.

والتركيب الكيميائى للتروبوسفير متجانس تقريبا إلاّ فى المناطق المتأثرة بتلوث الهواء ، ويحدث خلط فى طبقة التروبوسفير ، وذلك راجع إلى الرياح وارتفاع الهواء الدافئ الذى يتكون بالقرب من سطح الأرض ، ويظل التركيب الكيميائى للستراتوسفير ثابتًا نسبيًا مع الزمن بسبب ندرة حدوث الخلط الرأسى.

وللإنسان تأثير كبير على تركيب الغلاف الجوى ؛ فهناك بعض الغازات النادرة التى ازدادت فى الهواء الجوى بسبب أنشطة الإنسان مثل غاز ثانى أكسيد الكربون. والميثان، وأكسيد النتروز N_2O، وأول أكسيد الكربون، وغازات الكلورو فلوروكربون (CFCs). وتؤدى هذه الغازات – بصورة مباشرة أو غير مباشرة – إلى زيادة امتصاص الأشعة تحت الحمراء، وعلى ذلك فهى تُكثِّف من تأثير الاحتباس الحرارى (تأثير الصوبة) (للمزيد من التفاصيل انظر الفصل العاشر). ومع ذلك فليس واضحًا تمامًا فى الوقت الحاضر أن التغيرات المعنوية فى المناخ قد تنتج من الغازات الملوثة ، وبصفة خاصة تلك التى تدخل الغلاف الجوى ، وتنتج عن احتراق الوقود الحفرى، وإزالة الكساء النباتى الطبيعى، وانطلاق غازات الكلورو فلوروكربون CFCs، وأنشطة الإنسان المختلفة.

٢ - ٢ - ١ طبيعة وخواص الطبقة السفلى من الغلاف الجوى:

إن المكونات الكيميائية التى تُكَوِّنُ معظم غازات التروبوسفير هى النتروجين، والأكسجين مع مكونات رئيسية ثانوية مثل : الأرجون، ثانى أكسيد الكربون، بخار الماء. وبالرغم من أن غاز الأوزون قليل جدا فى كميته فإنه مهم جدا بصفة خاصة فى كيمياء الغلاف الجوى المحيط بالأرض. ويمثل جدول ٢ - ١ متوسط تركيب الغلاف الجوى.

ويسبب وفرة النتروجين (٠٨ر٧٨٪)، والأكسجين (٩٥ر٢٠٪) فى الغلاف الجوى فإن نسبة هذين العنصرين تظل ثابتة نسبيا على مدار الزمن. فى حين أنه يمكن أن تتغير نسبة المكونات الأخرى للغلاف الجوى مع الزمن بسبب زيادة انبعاثها الطبيعى أو الناتج عن النشاط البشرى، وتتجه الملوثات الجوية إلى أماكن فوق المناطق التى تصدر منها مثل المدن، ومحطات توليد الطاقة باستخدام الوقود الحفرى. ومع ذلك، فهناك أيضا مصادر طبيعية تنبعث منها الغازات ؛ فالبرك والبيئات اللاهوائية تطلق غاز الميثان وكبرتيد الهيدروجين، كما أن الحرائق تسبب انبعاث غازات أول وثانى أكسيد الكربون، والميثان، وكبرتيد الكربونيل. والعمليات الزراعية مسئولة أيضا وبدرجة جزئية عن انطلاق غازات أول أكسيد الكربون، وأكسيد النتروز الناتجة من زراعة وتسميد الأراضى، كما أن الحيوانات المجترة الأليفة تُنتج بالتقريب ٦٠ - ١٠٠ طن مترى من الميثان فى السنة، وهى تبلغ حوالى ١٥٪ من غاز الميثان المنبعث على مستوى العالم.

لقد ازداد تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون بحوالى ٢٥٪ عن معدلاته المقدرة فى مراحل ماقبل الصناعة فى عام ١٨٨٠ تقريبا. وفى الفترة بين عامى ١٩٥٨، ١٩٨٨ ارتفع مستوى غاز ثانى أكسيد الكربون الجوى من ٣١٦ إلى ٣٥٠ جزءًا فى المليون، وبمعدل يزيد عن واحد جزء فى المليون سنويا. وفى ظل النظام المعمول به حاليًا، تمَّ التنبؤ بأن تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى بداية منتصف القرن الحادى والعشرين سوف يصبح ضعف تركيزه فى عصر ماقبل الصناعة، كما يشير النظام المعمول به حاليا إلى النشاط المستمر فى استخدام الوقود الحفرى للحرق، وفى إزالة الغابات

جدول ٢- ١ المتوسط العالمي للتركيب الكيميائى للغلاف الجوى

الرمز الكيميائى	الإسم الشائع	النسبة المئوية	الكتلة مقربة (كجم)
-	هواء جاف	١٠٠	٥ر١٢ × $١٠^{١٨}$
N_2	نتروجين	٧٨ر٠٨	٣ر٨٧ × $١٠^{١٨}$
O_2	أكسجين	٢٠ر٩٥	١ر١٨ × $١٠^{١٨}$
Ar	أرجون	٠ر٩٣	٦ر٥٩ × $١٠^{١٦}$
H_2O	بخار ماء	٠ر١ - ٠ر٥	١ر٧٠ × $١٠^{١٦}$
CO_2	ثانى أكسيد الكربون	٣ر١٥ × $١٠^{-٢}$	٢ر٤٥ × $١٠^{١٥}$
Ne	نيون	١ر٨٢ × $١٠^{-٣}$	٦ر٤٨ × $١٠^{١٣}$
He	هليوم	٥ر٢٤ × $١٠^{-٤}$	٣ر٧١ × $١٠^{١٢}$
CH_4	ميثان	١ر٥ × $١٠^{-٤}$	٤ر٣ × $١٠^{١٢}$
H_2	هيدروجين	٥ × $١٠^{-٥}$	٢ × $١٠^{١١}$
N_2O	أكسيدنتروز	٣ × $١٠^{-٥}$	٢ × $١٠^{١٢}$
CO	أول أكسيد الكربون	١ × $١٠^{-٥}$	٦ × $١٠^{١١}$
NH_3	أمونيا	١ × $١٠^{-٦}$	٣ × $١٠^{١٠}$
NO_2	ثانى أكسيد النتروجين	١ × $١٠^{-٧}$	٨ × $١٠^{٩}$
SO_2	ثانى أكسيد الكبريت	٢ × $١٠^{-٨}$	٢ × $١٠^{٩}$
H_2S	كبرتيد الهيدروجين	١ × $١٠^{-٨}$	١ × $١٠^{٩}$
O_3	أوزون	متغيرة	٣ × $١٠^{١٢}$

المصدر Walker , 1977.

المعتدلة والاستوائية، ولذلك فمن المتوقع أن تؤدى النسب المتزايدة فى الجو من ثانى أكسيد الكربون وغازات الصوبة الأخرى إلى زيادة متوسط درجة الحرارة على مستوى العالم بمقدار ٥ ر١ – ٥°م فيما بين عام ٢٠٢٥ وعام ٢٠٥٠.

وبالإضافة إلى الغازات الجوية توجد مواد عالقة فى الغلاف الجوى، وتتكون من مواد عديدة عضوية وغير عضوية فى حالة سائلة أو صلبة ؛ فالمواد الحيوية مثل الفيروسات، والبكتريا، والجراثيم، وحبوب اللقاح يمكن تصنيفها بأنها مواد عالقة أيضا طالما أنها معلقة فى الجو ، وعادة تكون المواد العالقة أصغر من ٥ ر. مم فى الحجم، ويمكن أن تنتج من مصادر عديدة سواء طبيعية أو من نشاط الإنسان، وتستطيع الحبيبات الأقل من واحد ميكرومتر (1Um) أن تبقى معلقة فى الجو كما يمكنها أن تنتقل لمسافات طويلة. أما الحبيبات ذات المدى ١ .. ر. – ١٠ ميكرومتر (Um) فتنتشر فى مناطق مصادر التلوث وحولها مثل المدن، والطرق السريعة، والمراكز الصناعية، ومحطات الطاقة ، وتقلل الرياح بدرجة كبيرة تركيز هذه المواد فى المسافات القريبة من مصادرها الأصلية.

كما يمكن أن تنشأ الحبيبات المحمولة بواسطة الهواء من الانفجارات، ومن تكسُّر المواد بفعل الطحن، ومن نشاط البراكين، وكذلك من السحل بفعل الرياح. ويعتمد التعدين السطحى على المتفجرات فى تفكيك الصخور (شكل ٢ – ٢) لغرض إزالتها أو معالجتها. وتنتج كميات كبيرة من المواد العالقة بفعل التعرية بالرياح فى المناطق الجافة وشبه الجافة، وكمثال على ذلك فقد قُدِّر أن حبيبات التربة المحمولة بواسطة الرياح من المناطق الجافة تسهم بمقدار $١٠^{١٥}$ جرام من المواد العالقة فى الغلاف الجوى سنويا. ومن بين هذه الكمية نجد أن ٢٠٪ منها يكون أقل من واحد ميكرومتر، وهذه الكمية يمكنها الانتقال بسهولة لمسافات بعيدة.

وتدخل العناصر النادرة إلى الغلاف الجوى عن طريق عمليات عديدة ؛ فاحتراق الوقود الحفرى والفحم، وانصهار الحديد والمعادن الأخرى غير الحديدية، ورماد البراكين، والتعرية بالرياح ، جميعها عمليات مسئولة عن زيادة تركيزات هذه العناصر النادرة مثل: الذهب، البرومين، الكادميوم، الرصاص، السلينيوم، القصدير، التيلوريوم



شكل ٢ - ٢ صورة للمواد العالقة المنطلقة بعد انفجار مواد التفجير أثناء عملية التعدين السطحى للفحم ، وتستخدم مواد التفجير لتفكيك الطبقات السطحية التى يجب أن تزال من أجل تعدين مترسبات الفحم.

بمقدار أربعة أضعاف التركيزات العادية، كما أن هذه العناصر النادرة يمكن أن تتراكم داخل أجسام النباتات والكائنات الدقيقة، وهذا بالتالى من الممكن أن يزيد من التأثيرات الضارة لها، وسوف نناقش تأثيرات هذه العناصر النادرة لاحقًا فى الفصل السابع.

٢ - ٢ - ٢ دورات الغلاف الجوى :

هناك دورات للعديد من العناصر والمركبات فى الغلاف الجوى، وتمثل هذه الدورات جزءًا من تحولها الكلى وانتقالها بين الأنظمة البيئية للتربة، والغلاف المائى، والغلاف الحيوى، وتشمل بعض هذه العناصر المهمة الكربون، والنتروجين، والفوسفور،

والكبريت ، وسنناقش دورات النتروجين والفوسفور والكبريت فى الفصل الرابع والخامس والسادس على التوالى. وسوف نقدم فى الفصل العاشر معلومات عن دورة ثانى أكسيد الكربون ودوره فى تأثير الاحتباس الحرارى أو الصوبة. وفى هذا الجزء سوف نذكر أسس الدورات المهمة فى الغلاف الجوى، ونعطى معلومات عامة تساعد المرء على فهم التفاعل بين مكونات الأراضى، والمياه، والغلاف الجوى، والغلاف الحيوى.

يلعب الأكسجين دوراً مُهمًا فى دورات العناصر (مثل: الكربون، النتروجين، الفوسفور، الكبريت) ، وهو – أى الأكسجين – العنصر الرئيسى فى العمليات التى تتم فى الغلاف الجوى، وكذلك فى العمليات الجيوكيميائية والعمليات الحيوية، ويوضح شكل ٢ – ٣ بعض التفاعلات الكيميائية والتيارات المختلفة التى تشملها دورة الأكسجين ، ويمثل الأكسجين الجوى (١٫١٨ × $١٠^{٢١}$ جم) أكبر مصدر للأكسجين، وهو فى الوقت الحالى فى حالة ثبات ، وذلك راجع إلى التوازن فى عمليات الاستهلاك وعمليات الإنتاج. ويُستهلك الأكسجين فى عمليات التنفس وعمليات تَحلُّل المادة العضوية، وينتج الأكسجين خلال عملية التمثيل الضوئى ، ويُقال إن كل الأكسجين الموجود فى الغلاف الجوى قد تم تدويره خلال الكائنات التى تقوم بعملية التمثيل الضوئى مثل النباتات وبعض الكائنات الدقيقة، وتوجد كمية كبيرة من الأكسجين فى الليثوسفير فى صور مختزلة، وهو ينطلق ببطء عن طريق تفاعلات التجوية، ويستهلك الأكسجين أيضا خلال عمليات احتراق الوقود الحفرى، والتحلل الهوائى والتجوية المؤكسدة للأراضى والصخور والمعادن.

يتم التحكم فى كُل من دورتى الأكسجين وثانى أكسد الكربون بدرجة كبيرة بواسطة الكائنات الحية ، ويرتبط معدل تدوير أو عمر الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بعمليات التمثيل الضوئى والتنفس ، ويختلف الزمن اللازم لتدوير الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى بسبب حجم كمية كل منهما. على أن مايسمى **متوسط زمن البقاء** Mean Residence Time (MRT) يقصد به الزمن الذى تأخذه مادة ما لكى يتم تدويرها خلال نظام محدد ، ويبلغ متوسط زمن البقاء (MRT) للأكسجين الجوى

حوالى ٣٠٠٠ سنة ؛ حيث يتم تدويره خلال الغلاف الحيوى، بينما تبلغ قيمته لثانى أكسيد الكربون حوالى ٥ سنوات فقط.

وتعتبر الدورات البيوجيوكيميائية للعناصر الغذائية والعناصر النادرة معقدة جداً، ويتم دراستها عن طريق فحص أو دراسة نظم بيئية فردية (مثل: الليثوسفير، الهيدروسفير، الغلاف الجوى، الغلاف الحيوى).

وفى هذا المجال تشمل موضوعات الدراسة الأساسية معدلات التحول، ومتوسط زمن البقاء (MRTs)، ومصير العناصر فى واحد أو أكثر من الأنظمة البيئية المختلفة. ولقد اهتمت دراسات عديدة بتأثير نشاط الإنسان على الدورات البيوجيو كيميائية بغرض التعرف على ما يخبئه لنا المستقبل.

٢ – ٣ الغلاف المائى :

يشمل الغلاف المائى مياه الأنهار، والجداول، والبحيرات، والمحيطات، ويشمل أيضًا الماء الأرضى، والمياه الجوفية، والثلاجات، والجليد الموجود عند القطبين (جدول ٢ – ٢) . وبالرغم من أن حوالى ٧٠٪ من سطح الكرة الأرضية مغطى بالمياه فإن هناك كميات هائلة من المياه مدفونة تحت الأرض. وعلاوة على ذلك فإن أكبر مصدر للمياه هو المحيطات، يليها الجليد (القطبى والثلاجات)، ثم تأتى بعد ذلك المياه الجوفية، وتمثل المياه العذبة والبحيرات المالحة والبحار الداخلية أكبر مصادر للمياه السائلة على الأرض إلى جانب الأنهار والجداول التى تكون جزءًا بسيطًا من مياه العالم ، كما تبلغ كمية المياه المحتجزة فى الأراضى حوالى خمسين ضعف كمية مياه الأنهار والجداول. وبالرغم من احتواء الغلاف الجوى على جزء صغير فقط من المياه الموجودة فى المصادر الأخرى، فإن كمية المياه التى تمر خلال الهواء الجوى تعد كمية ضخمة جدا وغاية فى الأهمية.

تسمى دراسة الخواص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية وتفاعلات المياه **بعلم الهيدرولوجى**، ويختص **علم المياه العذبة** بدراسة نظم الماء العذب، ويختص **علم المحيطات** بدراسة المحيطات، **وعلم المناخ** بدراسة المناخ والطقس، وهذا الأخير يعتمد بدرجة كبيرة على المياه الموجودة فى الغلاف الجوى، كما يقوم **علم الجيوهيدرولوجى**

بدراسة المياه فى النظم الجيولوجية مثل بيئة الطبقات الصخرية المائية والمياه الجوفية ، ويدرس علماء الأراضى الخواص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية لنظم بيئة التربة، والتى يلعب الماء فيها دوراً رئيسياً.

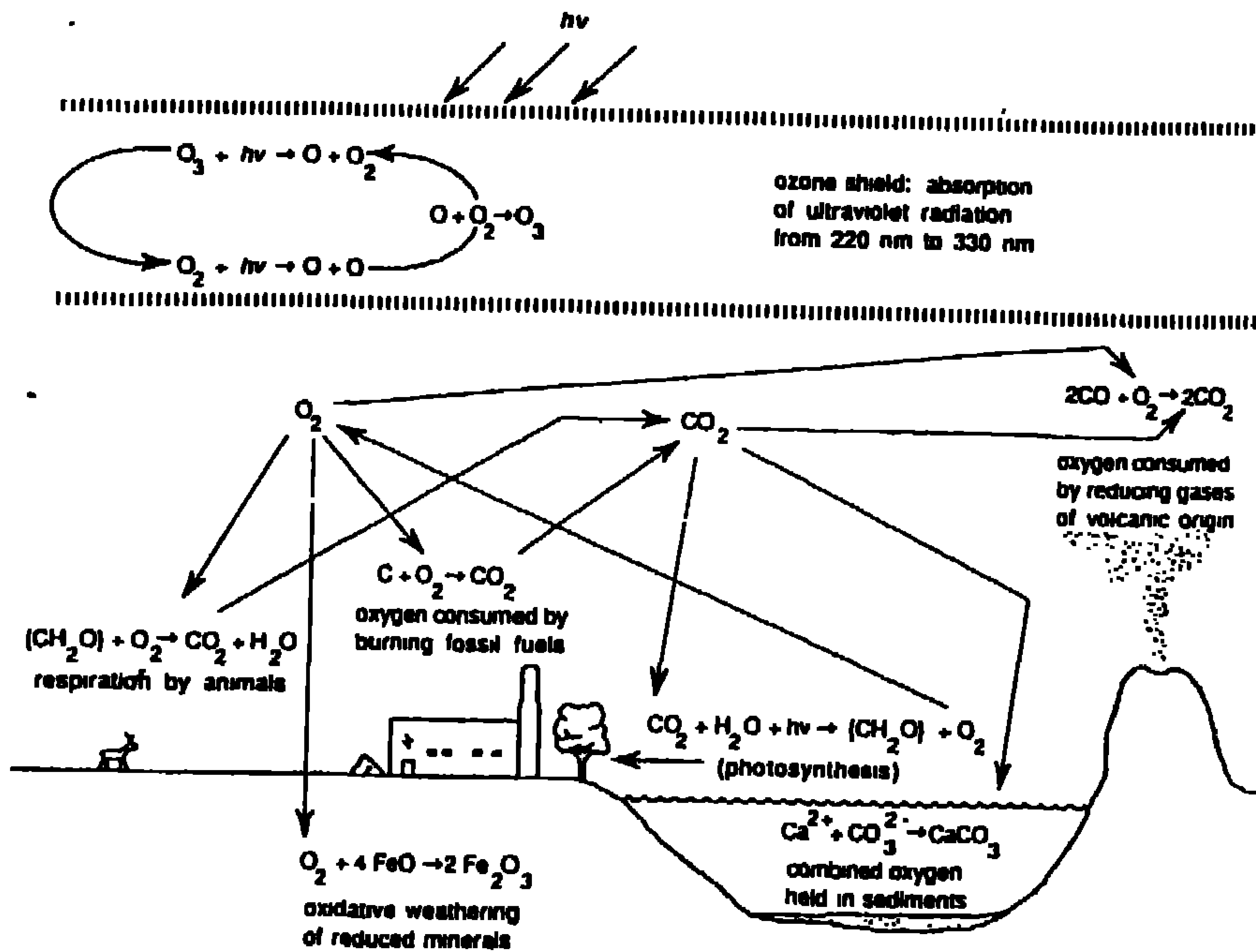
ويدُلُّ تلوث المياه على حدوث تدهور أو نقص فى جودة المياه، ويمكن الاستدلال على ذلك عن طريق التحاليل الكيميائية، أو الفيزيائية، أو البيولوجية، والتى يعتمد تقديرها عادة على الغرض المقصود من استخدام المياه ، ويحدث تلوث المياه عن طريق دخول مادة مافى النظام المائى بطريق مباشر أو غير مباشر ، وتشمل معظم الملوثات الشائعة عناصر نادرة، وعناصر غذائية، ومخلفات بترولية، وباثوجينات، ومبيدات. وبالرغم من أن المادة العضوية المعلقة والرواسب توجد، بصفة عامة، فى معظم الجداول والبحيرات، فإن هذه المواد تسبب تدهوراً فى جودة المياه عن طريق زيادة الاحتياج الحيوى للأكسجين BOD أو عن طريق نقص اختراق الضوء بسبب زيادة عكارة المياه ، كما أن التغيرات فى درجة حرارة المياه بسبب صرف المياه الساخنة فيها من محطات الطاقة والمصانع يمكن أن تغير التنوع البيولوجى فى الأنهار والبحيرات.

وتعتبر جودة المياه حاليًا – ومستقبلاً – مشكلة بيئية ومشكلة اقتصادية كبيرة، وتعد **عملية التشبع الغذائى** Eutrophication مثالاً يعبر عن أهمية جودة المياه، وتحدث هذه العملية فى البحيرات والأنهار عندما تضاف إلى النظام البيئى كميات زائدة من العناصر الغذائية مثل النتروجين والفوسفور، وكلما يزداد العنصر الغذائى المضاف إلى سطح المياه تدريجيًا، تمُرُّ الحالة الغذائية للمياه بأربع مراحل متتالية هى: **مرحلة التغذية الناقصة** Oligotrophic ، **ومرحلة التغذية المتوسطة** Mesotrophic ، **ومرحلة التغذية المشبعة أو الكافية** Eutrophic ، **ومرحلة التغذية فوق المشبعة أو الزائدة** Hypereutrophic. وعند كل مرحلة تحدث تغيرات متقدمة فى بيئة المياه، وعادة يكون تأثيرها سلبيًا فى حالة استخدام المياه فى أغراض اقتصادية أو استجمامية. ويمكن أن تؤدى الإضافات المتزايدة للعنصر الغذائى إلى سطح المياه إلى تشجيع نمو الطحالب، ونقص الأكسجين الذائب، ونقص شفافية المياه (جدول ٢ – ٣). ويمثل (جدول ٢ – ٤) ملخصا لبعض مشاكل جودة المياه المرتبطة بعملية التشبع الغذائى. ولمزيد من الاطلاع راجع الفصل الرابع والفصل الخامس عن دور النتروجين والفوسفور فى عملية التشبع الغذائى.

٢ - ٣ - ١ خواص المياه :

الماء ضرورى لجميع صور الحياة على الأرض، وهو المكون الرئيسى أو المكون المركزى للعديد من العمليات الكيميائية والفيزيائية التى تحدث فى الأراضى ؛ فالثلج يمكنه - بعملية فيزيائية - تكسير الصخور إلى حبيبات صغيرة، والأخيرة يمكن بعد ذلك أن تخضع لعمليات التجوية الكيميائية .. وذوبان معادن التربة، وانتقالها عبارة عن عمليات مستمرة تحدث عن طريق الغسيل بواسطة المياه خلال بيئة التربة. وفى المناطق ذات المطر القليل تكون تجوية وانتقال المكونات الذائبة بطيئة نسبيا، وذلك بالمقارنة بما يحدث فى المناطق عالية الأمطار، كما يزداد انتقال الملوثات من الأراضى إلى المياه الجوفية أو السطحية بزيادة كمية المياه التى تنفذ خلال التربة.

والماء - الذى يُشارُ إليه غالبًا على أنه مذيب عام - ضرورى لانتقال العناصر الغذائية، والغازات، والمركبات العضوية فى الكائنات الحية. ويوضح جدول (٢ - ٥)



شكل ٢ - ٣ أمثلة للتفاعلات المختلفة للأكسجين وثانى أكسيد الكربون التى تحدث فى البيئة.

(Manahan , 1991.)

بعض الخواص الفريدة للماء، ويرجع كثير من هذه الخواص إلى التركيب الجزيئى للماء وقدرته على تكوين روابط هيدروجينية تسمح لجزئيات الماء لأن تتداخل أو تتفاعل مع بعضها البعض، وتُكوِّن مجموعات أو بللورات سائلة ، وتعطى هذه التفاعلات للماء خواصًا فريدة تميزه عن جزئيات أخرى ذات حجم ووزن مشابه. على سبيل المثال، يتحول الميثان (وزنه الجزيئى ١٦) من غاز إلى سائل عند – ٥٥ °م ومن سائل إلى صلب عند – ١٨٢°م.

٢ – ٣ – ٢ مكونات الدورة الهيدرولوجية :

إن انتقال أو تحرك الماء من بيئة إلى أخرى يتحكم فى الدورة الهيدرولوجية (شكل ٢ – ٤) ؛ فيدخل الماء إلى الهواء الجوى أساسا عن طريق عمليات التبخير والنتح ، ويعود إلى المحيطات وسطح الأرض فى صورة مطر أو جليد ، ويوضح شكل (٢ – ٥) معدل الماء المنقول من بيئة لأخرى ، والذى يسمى معدل تدفق الماء Water Flux وطبقا لهذا الشكل فإن كمية الماء التى تترك أحد مصادر المياه يتم تعويضها بكمية الماء الداخلة إليه، والمعدلات الموضحة فى الرسم عبارة عن تقديرات لمعدل تدفق الماء فى الوقت الحالى، وهى قد تغيرت خلال مرحلة تطور الأرض.

يمكن حساب متوسط زمن البقاء MRT للماء فى البيئات المختلفة إذا افترضنا أن الداخل منه للبيئة مساوياً للخارج منه، وإذا عرفنا كتلة الماء فى البيئة وكذلك معدل دخول وخروج الماء من البيئة (متوسط زمن البقاء = الكتلة ÷ معدل التدفق). وباستخدام البيانات فى جدول ٢ – ٢ وشكل ٢ – ٥ يمكن حساب متوسط زمن بقاء الماء فى البيئات المائية المختلفة. ويكون متوسط زمن بقاء الماء فى الغلاف الجوى كالتالى:

متوسط زمن بقاء الماء فى الغلاف الجوى = ١٣٠٠٠ كم^{3} ÷ ٤٩٦٠٠٠ كم^{3} سنة$^{-1}$

= ٠٢٦ر٠ سنة أو ٩٠٥ يومًا ... (٢ – ١).

جدول ٢- ٢ نسبة الماء فى المصادر المختلفة للغلاف المائى

المصـــدر	المحتوى (ك . م٣)	النسبة المئوية
أجسام مائية		
المحيطات	١ ٣٢٠ ٠٠٠ ٠٠٠	٩٧ر٢
البحيرات العذبة	١٢٥ ٠٠٠	< ١ ر ٠
البحيرات المالحة والبحار الداخلية	١٠٤ ٠٠٠	< ١ ر ٠
الأنهار والجداول	١ ٣٠٠	< ١ ر ٠
مصادر ثلجية		
الجليد القطبى والثلاجات	٢٩ ٢٠٠ ٠٠٠	٢ر٢
الغلاف الأرضى		
الماء الأرضي	٦٧ ٠٠٠	< ١ ر ٠
المياه الجوفية	٨ ٣٥٠ ٠٠٠	٦ر٠
الغلاف الجوى	١٣ ٠٠٠	< ١ ر ٠

المصدر: Goldman and Horne, 1983.

والمعدل السريع الذى يتحرك به الماء من الأرض إلى المحيطات يؤدى إلى متوسط زمن بقاء الماء فى الجداول والأنهار كالتالى:

متوسط زمن بقاء الماء فى الجداول والأنهار = ١٣٠٠٠ كم^{٣} ÷ ٤٠٠٠٠ كم^{٣}سنة$^{-١}$

= ٠٣٣ر٠ سنة أو ١٢ يومًا .... (٢ – ٢).

ويوضح كل من المثالين السابقين المقدار الكبير لحساسية هذه الأنظمة ، حيث إن أى ملوث قابل للذوبان فى الماء يدخل هذه الأنظمة يمكنه أن ينتقل بسرعة إلى نظام آخر خلال فترة زمنية قصيرة ، ويكون **احتمال تلوث** نظام معين بمادة ما له علاقة بمتوسط زمن بقائها فى هذا النظام . وعلى ذلك ، فإذا دخل إلى النهر ملوث ما بسبب حادثة ، ولو كان متوسط زمن بقاء هذا الملوث صغيراً فإنه سينتقل بسرعة إلى نظام آخر أو بيئة أخرى . وإذا كان متوسط زمن بقاء الملوث أكبر فى النظام الجديد أو البيئة المستقبلة ، فسوف يبقى الملوث فى هذه البيئة الجديدة مدة زمنية أطول من سابقتها ، وفيما يلى مقارنة بين الحالتين :

متوسط زمن بقاء الماء فى المحيط

= ٠٠٠ر٠٠٠ر٣٢٠ر١ كم^{٣} ÷ ٤٨٥٠٠٠ كم^{٣} سنة$^{-١}$ = ٣١٠٠ سنة (٢ – ٣)

بينما يتراوح متوسط زمن بقاء الماء فى أنظمة البحيرات والمياه الجوفية من عشرات إلى مئات أو آلاف السنين على الترتيب.

٢ – ٣ – ٢ – ١ الأراضى :

تحتفظ الأراضى بالمياه فى الفراغات البينية بواسطة قوى التماسك وقوى الالتصاق بين جزئيات الماء وسطوح حبيبات التربة، وتنشأ **قوى التماسك** نتيجة قطبية جزىء الماء والرابطة الهيدروجينية التى تجذب جزئيات الماء إلى بعضها البعض، بينما **قوى الالتصاق** هى المسئولة عن جذب جزئيات الماء إلى سطوح معادن التربة أو المادة العضوية، وتسمح هذه القوى للماء أن يتحرك إلى أعلى فى الأراضى بواسطة الخاصة الشعرية أو بموازاة أو بطول سطوح حبيبات التربة فى صورة أغشية أو أغلفة مائية.

جدول ٢– ٣ مقارنة بين صفات مياه ناقصة التغذية وأخرى كافية التغذية (مشبعة)

الصفة	ناقصة التغذية	كافية التغذية
حالة العنصر	منخفضة	عالية
الطحالب	نادرة	شائعة
كثافة الكتلة الحيوية	منخفضة	عالية
التنوع المائى	عالى	منخفض
الأكسجين الذائب (نسبة التشبع)	< ٨٠	> ١٠
الفوسفور الكلى (ميكروجرام/ لتر)	٤ – ١٠	< ٣٠
النتروجين الكلى (ميكروجرام/ لتر)	> ٢٠٠	< ٥٠٠
الكلوروفيل (مجم/ لتر)	١ – ٣	< ٨
العكارة (م)	٦ – ١٢	> ٢

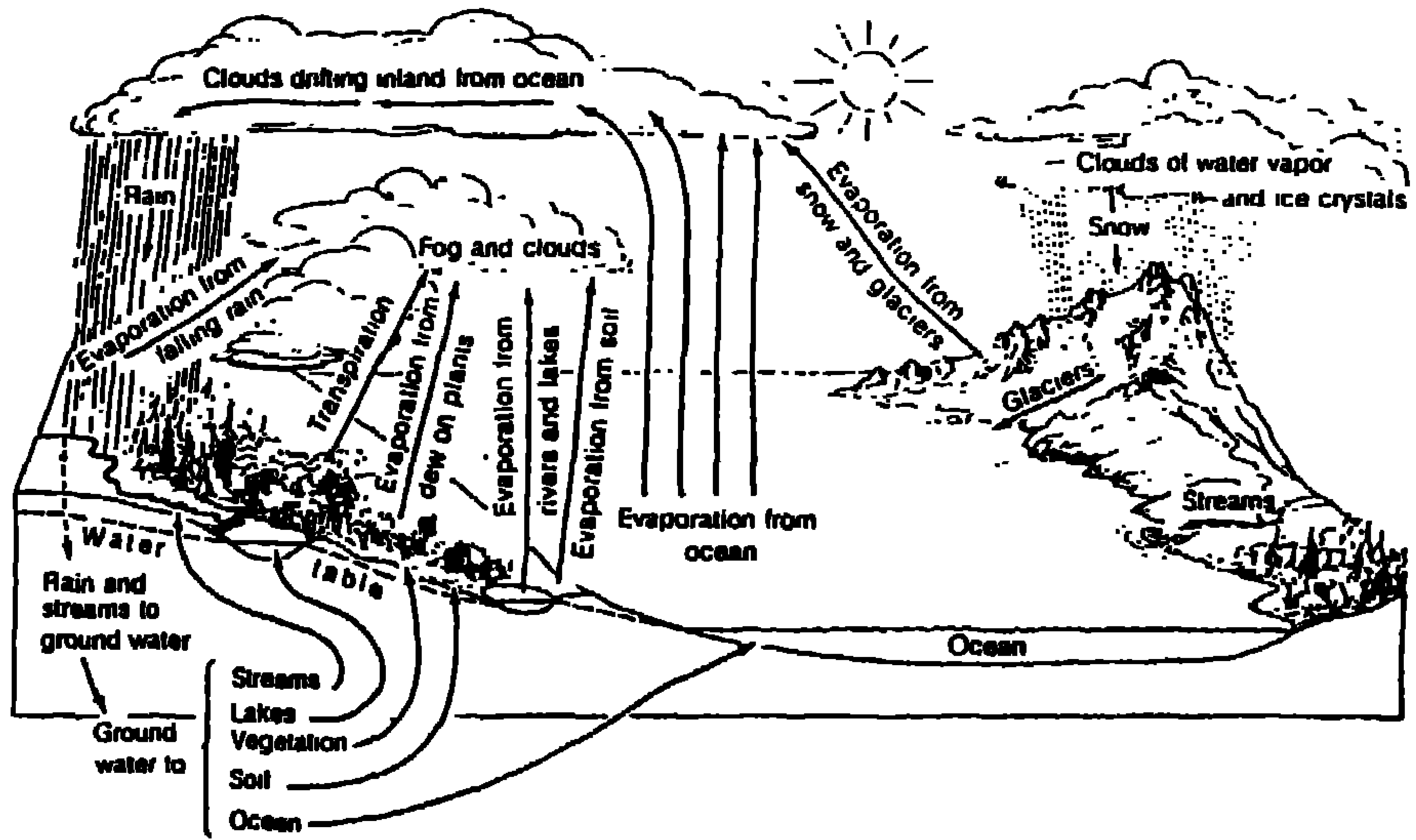
جدول ٢- ٤ مشاكل جودة المياه المرتبطة بعملية التشبع الغذائى

مشاكل جودة المياه	العوامل المساهمة من التشبع الغذائى
سلامة المياه، الطعم، الرائحة	العناصر الغذائية، الرواسب المعلقة تؤدى إلى تدهور جودة المياه وتزيد تكلفة وصعوبة تنقية مياه الشرب ، ظروف نقص الأكسجين والتوكسينات الناتجة فى مناطق الطحالب يمكن أن تسبب قتل الأسماك وتجعل المياه غير مأمونة للطيور والحيوانات.
التنوع البيولوچى المنخفض	تشجيع نمو كائنات معينة يؤدى إلى نقص فى أعداد وحجم أنواع أخرى ، ومع مرور الزمن تسود فى البحيرة الطحالب وتختفى الأسماك الكبيرة السريعة النمو، والأسماك عالية الجودة الصالحة للأكل، والنباتات الكبيرة المغمورة، والكائنات القاعية.
إفساد استخدام المياه للاستجمام والملاحة	تؤدى زيادة الرواسب إلى تقليل عمق البحيرة، كما يسد النمو الخضرى الزائد ممرات الملاحة ، ويؤدى تحلل النفايات السطحية للكتلة الحيوية للطحالب إلى زيادة أعداد الحشرات.

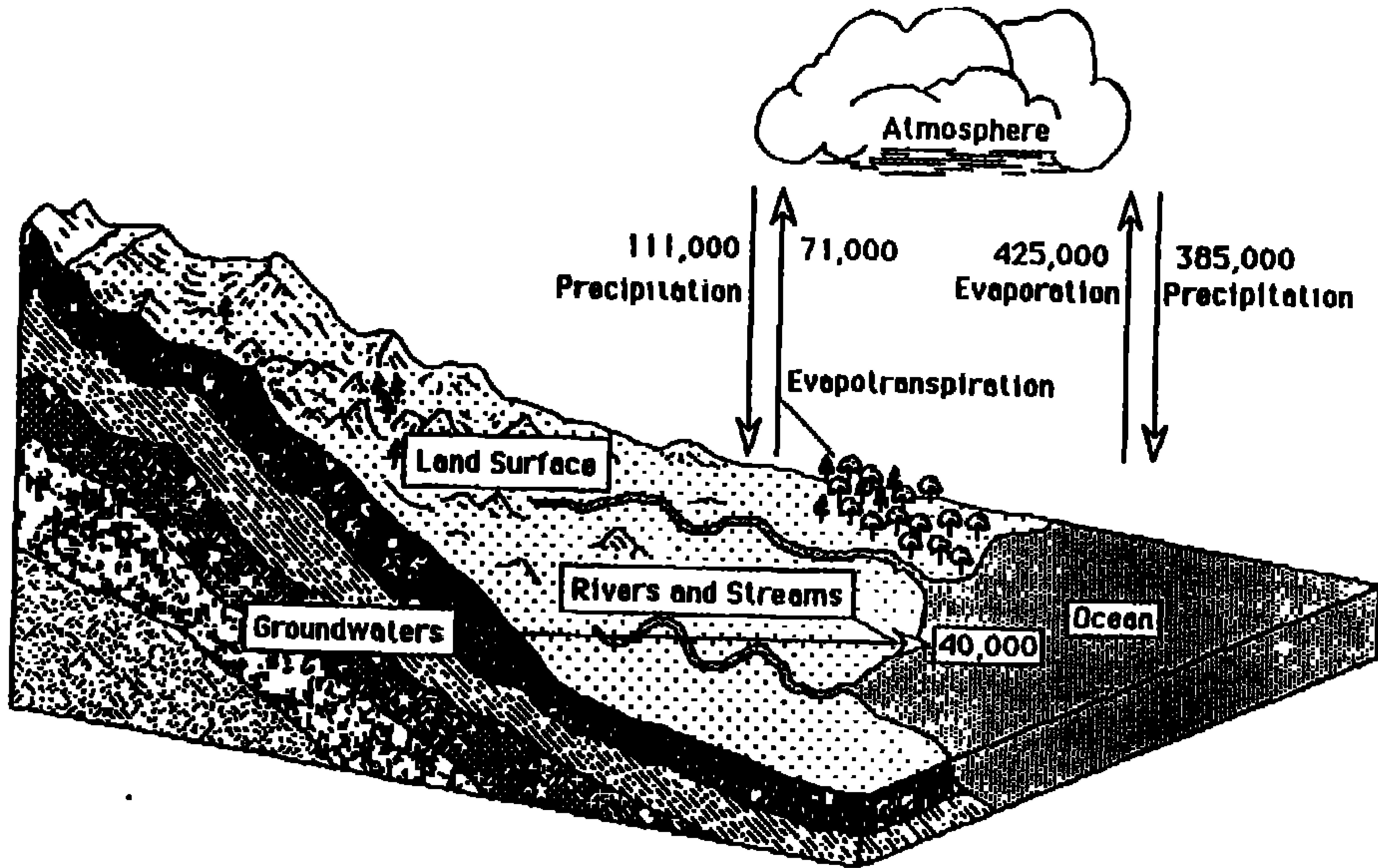
جدول ٢- ٥ خواص الماء وأهميتها.

الخاصية	الأهمية	ملاحظات
مذيب	ضرورة لعمليات كثيرة بيوكيميائية، وكيميائية جيولوجية، وجوية.	مادة دائمة
الكثافة	تسمح للثلج أن يطفو على الماء.	العظمى عند ٤ْم.
ثابت العازل الكهربائى	أسباب لذوبان معظم المواد الأيونية فى الماء، ولو جزئياً.	الأعلى بين جميع السوائل المائية النقية.
التوتر السطحى	يُنتج قوى جذب غير متساوية بين طورين.	الأكبر بين جميع السوائل المائية.
حرارة التبخير	تتحكم فى معدل انتقال الحرارة والماء بين الماء والهواء الجوى.	الأعلى بين جميع المواد.
الحرارة الكامنة للانصهار	تثبّت تغير الحرارة عند نقطة التجمد.	الأعلى بين جميع السوائل المائية ماعدا الأمونيا.
السعة الحرارية	تُوازن التغيرات فى درجة الحرارة.	الأعلى بين جميع السوائل المائية ماعدا الأمونيا.
النفاذية	تسمح بمرور ضوء الشمس إلى أعماق كبيرة فى المياه حيث تحتاجه الكائنات التى تقوم بالتمثيل الضوئى	مادة عديمة اللون

المصدر: Manahan , 1991.



شكل ٢ – ٤ إيضاح المصادر المختلفة وعمليات التحول التى تحدث فى الدورة الهيدرولوجية.
(Gilluly , et al. 1975.)



شكل ٢ – ٥ معدلات التحول (ك . م٣) لحركة الماء فى الدورة الهيدرولوجية على مستوى العالم.
(Spiedel and Agnew , 1982.)

ولقد استخدمت مصطلحات عديدة لوصف ماء التربة، بما فى ذلك المحتوى الرطوبى والجهد المائى.

المحتوى الرطوبى : هو مقياس للماء فى التربة وعادة يعبر عنه فى صورة نسبة مئوية. ويُقَدر محتوى الرطوبة فى التربة عن طريق وزن كُلٍّ من الماء والمادة الصلبة فى عيِّنة التربة، ويمكن قياس وزن أى منهما فى المعمل باستخدام الفرن والميزان. وتحسب نسبة الماء فى التربة كالآتى:

المحتوى الرطوبى للتربة ٪ = **[(وزن التربة الرطبة – وزن التربة الجافة فى الفرن)**

÷ وزن التربة الجافة فى الفرن] × ١٠٠ .... (٢ – ٤)

الجهد المائى للتربة: هو مقياس للقوة أو الطاقة التى يمسك بها الماء بواسطة التربة، ويتحرك الماء فى الأراضى من المناطق ذات الجهد المائى العالى إلى المناطق ذات الجهد المائى المنخفض، وبالتالى فإن الجهد المائى يرتبط بكل مما يلى:

محتوى التربة من الرطوبة، قوام التربة، بناء التربة، محتوى التربة من الأملاح، ومحتواها من المادة العضوية. أما الجهد المائى للطين أو للأراضى الطينية فإنه أقل منه للرمل أو للأراضى الرملية عندما يحتوى الاثنان على المحتوى الرطوبى نفسه.

الجهد المائى الكلى: هو التأثير الإجمالى الذى يعزى إلى تجميع الجهود المختلفة للماء فى التربة وأهمها: جهد النسيج، جهد الضغط، جهد الجاذبية الأرضية، جهد المذاب.

جهد النسيج: (يعرف أيضا بأنه جهد الشد أو الجذب) وهو محصلة تفاعل الماء مع سطوح التربة (قوى الالتصاق) وميل المسام الصغيرة إلى الاحتفاظ بالماء بقوة أكبر مما تفعله المسام الكبيرة (قوى التماسك). وفى الأراضى جيدة الصرف والتى تحتوى على أملاح ذائبة قليلة، فإن جهد الماء فى هذه الأراضى يساوى تقريبا قيمة جهد النسيج.

أما جهد الضغط وجهد الجاذبية الأرضية فيرتبطان بالقوى الخارجية التى يتعرض لها الماء الأرضى. ويعزى جهد الضغط إلى التأثيرات الناتجة عن ضغط الهواء الجوى أو ضغط الغازات، بينما يعزى جهد الجاذبية الأرضية إلى قوة سحب الجاذبية الأرضية للماء الأرضى.

أما جهد المذاب أو الجهد الإسموزى فيعود إلى حركة الماء من المحلول المخفف إلى المحلول المركز.

يتحرك الماء فى الأراضى فى صورة بخار (صورة غازية) أو فى صورة سائلة، **ويعتبر سريان البخار** خلال التربة عملية بطيئة. ويوجد بخار الماء فى جميع الأراضى غير المشبعة، ويتحرك بخاصية الانتشار فى داخل التربة، وذلك بسبب التدرج فى ضغط البخار ودرجة الحرارة. وتُقسّم حركة الماء الأرضى إلى سريان مشبع أو سريان غير مشبع، وذلك يتوقف على محتوى التربة من الرطوبة، ويحدث السريان المشبع فى الأراضى عندما تكون الفراغات البينية الكبيرة والدقيقة ممتلئة بالماء، ويمكن أن تصبح طبقات تحت السطح مشبعة عندما تكون حركة الماء محدودة، كما يحدث فى الأراضى التى يكون مستوى الماء الأرضى فيها عالياً أو توجد فيها طبقة طينية صمّاء، أو فى الأراضى الطبقية، ويحدث السريان غير المشبع فى الأراضى عندما تمتلئ الفراغات البينية جزئيا بالماء. وفى كل من الحالتين (المشبعة وغير المشبعة) يكون سريان الماء دالّة للقوة الدافعة الواقعة على الماء (**التدرج الهيدروليكى**)، ولقدرة التربة على السماح بحركة الماء (**التوصيل الهيدروليكى**).

أما عن الماء الذى يدخل فى التربة فإنه يمكن أن يخزن فيها، أو ينتقل إلى الأنهار والجداول والبحيرات والمحيطات، أو يصبح جزءاً من الماء الجوفى. ويحدث سريان ماء المطر على السطح، عندما لا تستطيع الأراضى امتصاص ماء المطر الساقط بسبب بطء معدل رشح الماء فيها، أو عندما تصبح التربة مشبعة، ويمكن أن يعود الماء الذى يسقط على سطح الأراضى إلى الغلاف الجوى بواسطة عمليات البخر – نتح، والتى هى عبارة عن جمع لعمليتى البخر الحادث من سطح التربة أو سطح

النبات والنتح الحادث من النبات، ويمكن أن يؤدى سريان ماء المطر على السطح إلى سحل التربة (انجرافها)، وحدوث تلوث عن طريق انتقال حبيبات التربة المحتوية على عناصر غذائية وأحيانًا مبيدات.

٢ - ٣ - ٢ - ٢ المياه السطحية الداخلية :

تشمل المياه السطحية الداخلية الجداول والأنهار والبحيرات. وبصفة عامة، فإن الماء الداخل فى البحيرات يأتى من المنطقة المحيطة بها، وبذلك تُعرَّف البحيرة بأنها حوض صرف للمنطقة، وتشمل مصادر الماء الداخلة إلى الجداول والأنهار: ماء المطر الساقط، ماء المطر الجارى على سطح الأرض خلال فترات المطر الغزير، الماء الموجود تحت سطح التربة، وتحدث له حركة جانبية بسبب الطبوغرافيا أو الطبقات الممتدة المختلفة القوام، وكذلك تشمل الماء المخزون فى مناطق الأراضى الرطبة المجاورة، والمياه الجوفية، وهناك عوامل تؤثر على كمية وجودة الماء فى المياه السطحية الداخلية، منها عوامل طبيعية هى: المناخ، الكساء الخضرى، الفيزيوغرافيا، الجيولوجيا، ومنها عوامل بشرية كالتحضر، والزراعة، وإزالة الغابات.

وتوجد أنواع عديدة من المواد التى تؤثر على جودة المياه، وهى تشتمل على مواد غير عضوية، وعضوية، وبيولوجية. ولبعض هذه المواد تأثير مباشر على جودة المياه، بينما يوجد للبعض الآخر تأثير غير مباشر يُحدث تغييرات كيميائية أو فيزيائية أو حيوية ؛ فالمواد التى تؤثر على جودة المياه - والتى سوف نناقشها لاحقا فى هذا الكتاب - تشمل: النتروجين، الفوسفور، الكبريت، العناصر النادرة، المبيدات، المطر الحامضى، غازات الصوبة. أما الملوثات الأخرى الإضافية مثل: الأنوية المشعة، المسرطنات ، الكائنات الدقيقة المرضة، ومخلفات البترول ؛ فهى مهمة فى جودة البيئة، وسوف يتم تغطيتها أيضا فى هذا الكتاب، ولكن بدرجة محدودة.

وعندما تضاف مواد عضوية، مثل حمأة المجارى، إلى المياه السطحية، يحدث نقص سريع فى الأكسجين الميسر؛ حيث يستهلك الأكسجين فى التحلل البيولوجى

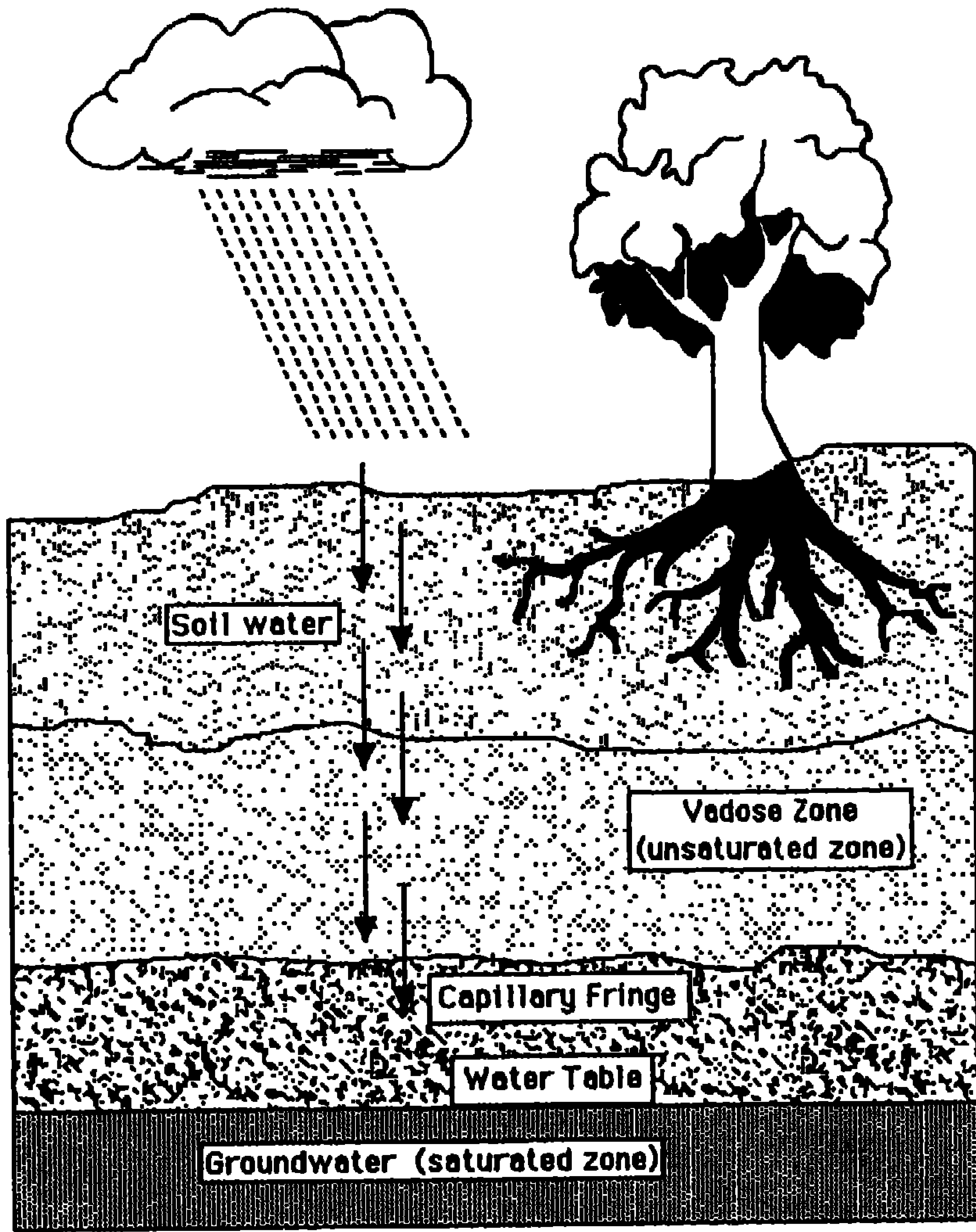
للمواد العضوية المضافة، وكذلك فى أكسدة المركبات غير العضوية المختزلة (**مثل** SO_3^{2-}, Fe^{2+}, NH_4^+,) الموجودة فى المادة العضوية المضافة، وهذا ينتج عنه نقص فى الأكسجين الميسر المطلوب للكائنات الحية فى البيئة المائية.

ويستخدم مقياسان لتقدير جودة المياه السطحية وهما: **متطلب الأكسجين الحيوى** (BOD)، **ومتطلب الأكسجين الكيميائى** (COD)، ويعتبر المتطلب الحيوى مقياساً لكمية الأكسجين المستهلكة بواسطة الكائنات الدقيقة فى مدة زمنية مقدارها خمسة أيام، بينما يوضح المتطلب الكيميائى كمية المادة القابلة للتأكسد الموجودة فى العينة عن طريق تفاعلها مع البيكرومات. وغالباً ماتكون أرقام المتطلب الكيميائى أعلى من أرقام المتطلب الحيوى، وهذا يتوقف على طبيعة وكمية المادة القابلة للتأكسد فى عينة المياه.

وتتأثر أيضا المجموعات الحيوية (الأسماك، النباتات، الكائنات الدقيقة ... إلخ) فى المياه السطحية بالظروف المتأثرة برقم الحموضة (pH) وتركيز الأملاح ؛ فالنشاط التعدينى غالبا مايكون له تأثير كبير على جودة المياه السطحية، وكذلك على الأراضى والهواء فى البيئة المحيطة، كما أن تأكسد مركبات الكبريت المختزلة يمكن أن يؤدى إلى صرف حامضى للمناجم، وهو مايسبب ضرراً للنبات والحيوان والكائنات الدقيقة، بالإضافة إلى أن صرف المناجم الحامضى فى مياه الرى قد يؤدى إلى زيادة ملوحة المياه السطحية.

٢ – ٣ – ٢ – ٣ المياه الجوفية :

يمكن للمياه الراشحة أن تتحرك تحت بيئة التربة فى منطقة معروفة باسم منطقة ڤادوز (وهى منطقة غير مشبعة)، أو تتحرك لمسافة أعمق مما سبق فى منطقة الماء الجوفى (منطقة مشبعة) (شكل ٢ – ٦). ويسمى السطح العلوى لمنطقة الماء الجوفى بمستوى الماء الأرضى، وهو يتذبذب متوقفاً على كمية الماء الواصل إلى منطقة



شكل ٢ – ٦ مناطق المياه تحت السطحية.

المياه الجوفية أو المستنفذ منها، وتكون منطقة الخاصة الشعرية هى المنطقة التى فوق خط مستوى الماء الأرضى،وفيها يُسحبُ الماء لأعلى فى المسام الدقيقة بفعل الخاصة الشعرية.

لقد سبق القول بأن حركة الماء ترجع إلى جمع: (١) التدرج الهيدروليكى، (٢) والسهولة التى عن طريقها يتحرك الماء خلال التربة أو الصخر (التوصيل الهيدروليكى). ويستجيب الماء الجوفى أيضا للتدرج، والذى هو نتاج حاصل ضرب قوة الجاذبية الأرضية ونفاذية الطبقات السفلية. وتتميز الطبقات السفلية بمساميتها ونفاذيتها، وهى تصف درجة الفراغات البينية ومقاومة حركة الماء على الترتيب. وعلى ذلك فإن المياه الجوفية تتحرك بدرجة أسرع فى الطبقات السفلية خشنة القوام، وأيضا كلما ازداد ميل مستوى الماء الأرضى.

الطبقات الصخرية المائية عبارة عن نظم المياه الجوفية التى لها مسامية ونفاذية قادرة على إمداد مياه كافية لغرض معين، ولكى يكون الصخر الحامل الماء مفيدا يجب أن يكون قادراً على أن يُخزن ، ويُنْفذ ، ويُنتج كميات كافية من المياه حسنة الجودة، وتقسم الطبقات الصخرية المائية هذه إما إلى طبقات محبوسة (تقع تحت طبقة غير منفذة) أو طبقات غير محبوسة (غير محدودة من أعلى ولها مستوى ماء أراضى). وقد يوجد ضغط كاف فى الطبقات المحبوسة يستطيع أن يُوَلّد ظروفًا ارتوازية، وتُسمّى مناطق الطبقات السفلية التى لها نفاذية منخفضة ، ولا تستطيع أن تنتج كميات كافية من الماء المفيد عمليا بالصخور المانعة.

٢ – ٤ بيئة التربة :

مصطلح «التربة» أو «الأرض» له معانٍ متعددة لدى الباحثين فى التخصصات المختلفة: يعرفها علماء النبات والإنتاج النباتى بأنها البيئة التى ينمو فيها النبات، وبالنسبة للمهندسين، يشير مصطلح «التربة» إلى المادة المفككة التى تقع بين سطح الأرض والصخر الصلب، ويصفها علماء الأراضى بأنها المادة المعدنية والعضوية المفككة عند سطح القشرة الأرضية، والتى حدث لها تغير بواسطة العمليات البيدولوجية. وبالرغم من عدم وجود تعريف موحد لمصطلح «التربة»، فمن الواضح أن وظائف التربة متعددة.

يحدث تلوث التربة غالبا من التلوث الكيميائى عن طريق استخدام كميات متزايدة من المبيدات والأسمدة، والتى يمكن أن تودى إلى تلوث المياه السطحية

والجوفية. غير أنه توجد صور أخرى لتلوث التربة أوتدهورها، تشمل السحل، والتضاغط، والملوحة . ولقد أُهملت الأراضى عندما استخدمت كمواقع للتخلص من المخلفات الكيميائية والمواد الأخرى غير المرغوبة. إن معظم الأراضى قادرة على ادمصاص ومعادلة كثير من الملوثات بدرجة تجعلها غير ضارة، وذلك عن طريق عمليات كيميائية وبيوكيميائية. ومع ذلك، هناك حدود لقدرة التربة على قبول المخلفات بدون تأثيرات سلبية.

وتعتبر الأراضى دالة للعمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التى تعمل باستمرار وتُغيِّر الأراضى عبر العصور الجيولوجية. وفى الأقسام التالية سوف نحدد الخطوط الكبرى للخواص المهمة للأراضى، كما نُعرِّف المصطلحات الشائعة الاستخدام فى وصف الأراضى، ولكى نصنف الأراضى لأغراض الاستخدام يجب أن نفهم الخواص العامة لها.

٢ – ٤ – ١ الخواص الفيزيائية للأراضى :

تحتوى الأراضى على مواد صلبة ومواد سائلة وغازات، وبخصوص الخواص الفيزيائية للأراضى فإننا نهتم بصفة مبدئية بتركيب وترتيب المواد الصلبة وكيفية تأثر حركة السوائل والغازات بالمواد الصلبة فى التربة. ويجب ملاحظة أن لون التربة ودرجة حرارتها تُعتبران أيضا من الخواص الطبيعية للأراضى، كما أن ترتيب المكونات الصلبة للتربة يحدد كمية المسام أو الفراغات البينية التى تمتلكها التربة. وفى هذا الجزء سوف نناقش طبيعة المواد الصلبة للتربة وأهمية هذه المواد الصلبة فى حركة محاليل وغازات التربة.

تتركب الأراضى من مواد صلبة تتراوح فى أحجامها من الحجارة إلى الطين الناعم (جدول ٢ – ٦). والمواد الأكبر حجما تسمى قطعًا خشنة أو كبيرة أو قطعًا معدنية (تشمل الحجارة، والحصى الكبير، والحصى)، وهى قد تَمَّ تجويتها فيزيائيا وكيميائيا على مدى فترات طويلة من الزمن لتُكوِّن حبيبات أصغر من الرمل والسلت والطين. وتُعرَّف حبيبات التربة، على أساس قطرها، بالرغم من ندرة وجود هذه

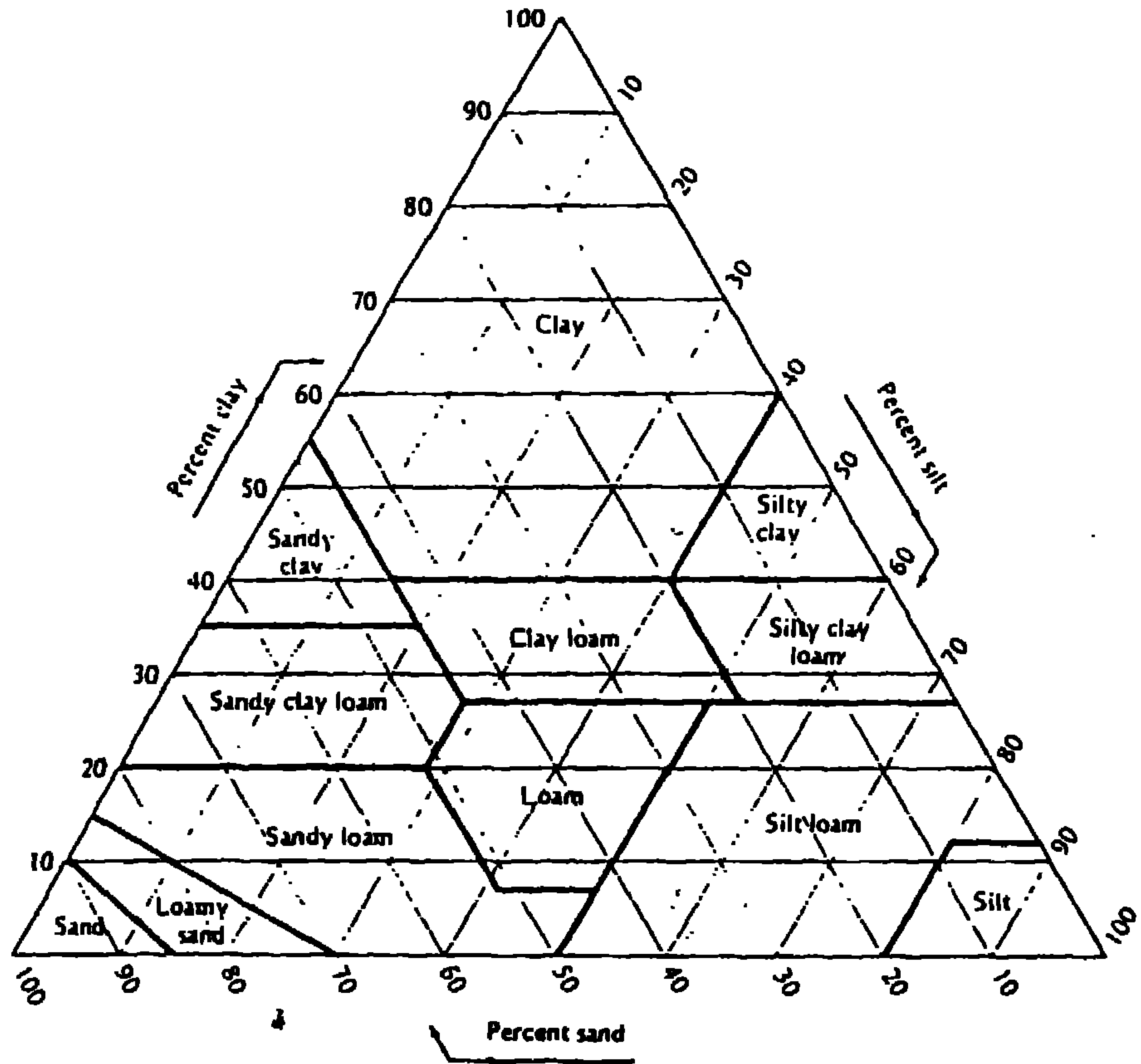
جدول ٢ – ٦ تصنيف حجم حبيبات التربة طبقا لقسم نظم الزراعة بالولايات المتحدة.

حبيبة التربة	القطر mm	مقارنــــة
قطع كبيرة		
حـــــجـــــارة	> ٢٥٤	> ١٠ بوصة
حـصـى كـبـيـر	٧٥–٢٥٤	٣- ١٠ بوصة
حـصــــــــى	٢–٧٥	٠ر٠٨– ٣ بوصة
حبيبات ترية		
رمل خـشن جـداً	١–٢	سُمْك النيكل
رمل خـــــشــن	٠ر٥– ١	سمك سن القلم الرصاص
رمل مـــتـــوسط	٠ر٢٥– ٠ر٥	بلورة الملح
رمل دقـــــيـق	٠ر١– ٠ر٢٥	الجانب المسطح لورقة كتاب
رمل دقـيق جـداً	٠ر٠٥– ٠ر١	تقريبا لايرى بالعين
سلت خـــــشـن	٠ر٠٢– ٠ر٠٥	شعيرة جذرية
سلت مـــتـــوسط	٠ر٠١– ٠ر٠٢	نيماتودا
سلت دقـــــيـق	٠ر٠٠٢– ٠ر٠١	الفطر
طين خـــــشـن	٠ر٠٠٠٢– ٠ر٠٠٢	البكتريا
طـين نـــاعـم	> ٠ر٠٠٠٢	الفيروسات

الحبيبات فى صورة أجسام كروية. ولمعادن الطين ثلاثة أبعاد، وتركيبها البنائى طبقى، أى توجد فى طبقات تشبه الصفائح أو الألواح فى مظهرها، وتختلف أحجام حبيبات التربة فى الغالب طبقا لنظام التقسيم المستخدم بواسطة كل مجموعة. فالنظام المتبع فى إدارة الزراعة بالولايات المتحدة (بواسطة مجموعة حصر الأراضى ١٩٧٥، ١٩٩٢) هو الذى نستخدمه فى هذا الكتاب.

يوجد ١٢ رتبة **لقوام التربة** معتمدة على نسبة الرمل والسلت والطين فى عينة التربة (شكل ٢ – ٧). وهناك طريقتان لتقدير قوام التربة: (١) الطريقة الحقلية وتُقدّر بواسطة اليد، (٢) طريقة التحليل الميكانيكى فى المعمل. ويتم تعليم طريقة الحقل فى مقرر أساسيات علم الأراضى وسوف لا تناقش هنا. ويتطلب استخدام طريقة التحليل الميكانيكى لتقدير نسبة الرمل، والسلت، والطين إزالة المكونات الكبيرة الحجم عن طريق نخل التربة خلال منخل ٢ – مم. وتعتبر المعالجات الكيميائية ضرورية أيضا لإزالة المواد اللاحمة مثل المادة العضوية والكربونات. ويجب أن يكون مجموع نسب الرمل والسلت والطين دائما ١٠٠٪ ومن ثمَّ يمكن معرفة رتبة قوام عينة التربة باستخدام مثلث القوام (شكل ٢ – ٧). على سبيل المثال، ماهى رتبة قوام التربة التى تحتوى على ٤٠٪ رمل، ٤٠٪ سلت، ٢٠٪ طين ؟. من مثلث القوام رتبة قوام هذه العينة طميية loam. ونحتاج فعلا إلى اثنين فقط من نسبة حبيبات التربة لتقدير رتبة قوامها؛ حيث إن النقطة التى يلتقى عندها الاثنان لا تتغير فى حالة استخدام النسبة الثالثة لحبيبات التربة.

وبسبب أن رتبة القوام لتربة ماتظل ثابتة لا تتغير خلال فترة زمنية مكافئة لامتداد عمر الإنسان، فيعتبر قوام التربة غالبا خاصية أساسية للتربة. وهذا أحد الأسباب التى تجبرنا على تسجيل رتبة قوام التربة لكل أفق عند وصف قطاع التربة فى عمليات حصر الأراضى. ومع ذلك، فإن حدوث اضطراب فى منطقة ما، كما يحدث مثلا فى حالة الانجراف بالماء أو الانجراف بالرياح، يمكن أن يُغيِّر قوام سطح التربة سواءً للتربة التى حدث لها انجراف أو التربة التى استقبلت وترسبت على سطحها المواد المنجرفة. وبالتالى فعلى مدار فترات زمنية طويلة (الزمن الجيولوجى)، قد يؤدى تجوية وانتقال مواد التربة إلى تغيير قوام التربة.



شكل ٢ - ٧ مثلث القوام ، وهو يوضح مدى نسب الرمل والسلت والطين فى الأراضى المختلفة. لاحظ أن مجموع الثلاث مكونات يمثل ١٠٠٪، وأن عينة التربة التى تحتوى على نسب متساوية من الرمل والسلت والطين يصنف قوامها طمى طينى.

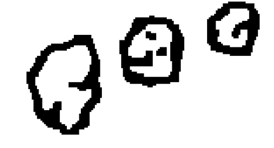
وترتبط حبيبات التربة مع بعضها البعض بواسطة قوى طبيعية وكيميائية لتُكوِّن **تجمعات أرضية ثابتة**. وتسمى التجمعات الطبيعية وحدات بنائية. وتُحدِّد نوع التجمعات الأرضية أو الوحدات البنائية مجتمعة مايسمى **بالبناء الأرضى**. وللبناء الأرضى تأثير على كمية الماء التى تدخل فى التربة **(الرشح)**، وعلى انتشار الغاز عند سطح التربة. ويلعب البناء الأرضى أيضا دوراً مهمًا فى حركة السوائل والغازات خلال الأراضى. وتعتبر **المسامية** دالة للبناء الأرضى.

يتم تصنيف البناء الأرضى على أساس أنواعه، وحجمه، ومستوياته (رتبه). وتشمل أنواع البناء الشائعة أشكال: الحبيبى، الطبقى، الكتلى تحت الزاوى والزاوى، المنشورى، والعمودى (شكل ٢ – ٨). ويُمثّل البناء الحبيبى الأفق A. أما البناء الطبقى فبالرغم من أنه ليس شائعا، فإنه يوجد فى الآفاق E لأراضى الغابات أو فى بعض الآفاق B الطينية المنضغطة. أما باقى الأنواع وهى البناء الكتلى، والمنشورى، والعمودى فتوجد غالبا فى الآفاق B؛ ويُعدُّ البناء الكتلى بصنفيه الزاوى وتحت الزاوى نموذجا للبناء الأرضى فى أراضى المناطق الرطبة، بينما يكون المنشورى والعمودى شائعا فى الأراضى الجافة وشبه الجافة.

ويختلف حجم التجمعات البنائية طبقا لنوع البناء الأرضى، ويتراوح مابين دقيق جدا إلى كبير جدا.

أما رتبة البناء الأرضى فتقدر عن طريق ملاحظة البناء الأرضى فى حفرة بالأرض وتقدير كيفية اكتمال تطور البناء الأرضى (أى تقدير حجم ودرجة وضوح واكتمال الوحدات البنائية). وتشمل رتب البناء الأرضى على : ضعيف، ومتوسط، وقوى.

وتُعدّ قياسات **الكثافة الحقيقة والكثافة الظاهرية** مفيدة فى تقدير نوع المعادن الموجودة فى التربة ، ودرجة تضاغط التربة على الترتيب . الكثافة الحقيقية تساوى كتلة الحبيبة مقسومة على حجمها (ميجا جم/م٣ أو جم/سم٣). وبذلك فإن حجم المسام، ووزن الماء لا يدخلان فى تقدير قياسات الكثافة الحقيقية. ولمعادن التربة الشائعة (الكوارتز ، الفلد سبار ، الميكا ، معادن الطين) كثافة حقيقية تتراوح من ٦ر٢، ٧٥ر٢ ميجا جم/م٣ ، وغالبا يستخدم ٦٥ر٢ ميجا جم/م٣ كمتوسط يمثل الكثافة الحقيقية للأراضى . والكثافة الظاهرية مقياس لكتلة الأرض مقسوما على حجمها. وتستخدم لقياسات الكثافة الظاهرية عينات تربة طبيعية، وذلك حتى يتحقق تمثيل حقيقى لكمية الجزء الصلب الموجود فى حجم معين من التربة لغرض حساب الكثافة الظاهرية. أما فى حالة التربة المفككة، فيتم تدمير الفراغات البينية الطبيعية الموجودة فى التربة. وتحسب الكثافة الظاهرية على أساس الوزن



حبيـــــــــبي التجمعات الأرضية عبارة عن وحدات بنائية صـغيرة وشبه كروية، ويوجد فى معظم كروية، ويوجد فى معظم الافاق السطحية للأراضى المعدنية.



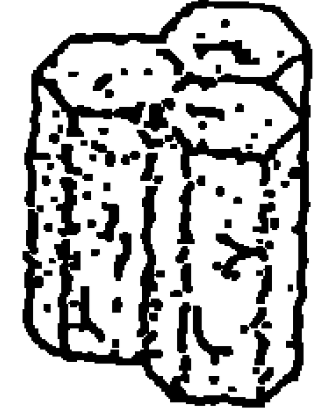
طبقـــــــــي بناء أفقى شبيه بالطبق، يوجد غالبا فى آفـاق E فى الأراضى التى بها طبـقـة صماء طينية.



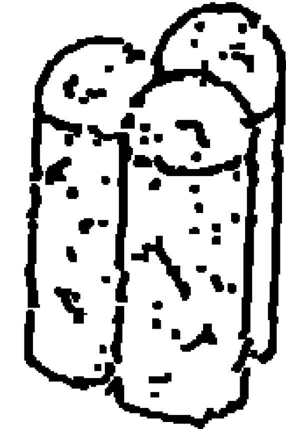
كتلـــــى زاوي وحدات بنائية شبيهة بالكتل الحادة، يشيع وجـــوده في آفـــاق B لأراضى المناطق الرطبة.



كتلى تحت زاوي وحدات بنائية شبيهة بالكتل ذات حواف مستديرة، يشيع وجوده أيضا فى آفاقB لأراضى المناطق الرطبة.



منشــــــوري وحدات بنائية شبيهة بالعمود ذات قمم مـسطحـة، يشـيع وجـوده فى آفـاق B للأراضى الجافة وشبه الجافة.



عمــــــــودي وحدات بنائية شبيهة بالعمود ذات قمم مستديرة، يشيع وجوده أيضا فى آفاق B للأراضى الجافة وشبه الجافة.

شـــكل ٢ – ٨ أنواع البناء الأراضى، أوصافه وموقعه فى قطاع التربة.

الجاف فى الفرن، ولا يؤخذ فى الاعتبار كمية المــاء الموجود فى التربة وقت أخذ العينة. وللأراضى المعدنية، إن لم يكن أصلها رماد بركاني، كثافة ظاهرية أكبر من واحد ميجا جم/م٣، مع كثافة ظاهرية شــائعة للأرض الطميية ٣ر١ ميجا جم/م٣. والأراضى التى لها كثافات عالية (مثل ٠ ر٢ ميجا جم/ م٣) يكون رشح ونفاذية الماء فيها بطيئا، وهذا يمكن أن يؤدى إلى تكوين برك أو سـريان لمــاء المطر على سطح التـربة. وللأراضى العضوية كثافة ظاهرية أقل من واحد ميجا جم/م٣. أما الأراضى المعدنية الناشئة من رماد البراكين فلها كثافة ظاهرية تتراوح من ٣٠ر٠ – ٨٥ ر٠ ميجا جم/م٣.

تُقسَّم معادن الطين إلى **معادن أولية** و**معادن ثانوية** تبعا لأصلها. **فالمعادن الأولية** هى تلك المعادن التى تكونت أثناء تبريد الصخر المنصهر ويسودها معادن السليكات (جدول ٢ – ٧). وتتكون الصخور النارية كلية من معادن أولية، أما الصخور المتحولة والرسوبية فيمكن أن تحتوى على كميات وفيرة من أى من المعادن الثانوية أو الأولية.

وتتكوّن **المعادن الثانوية** فى الأراضى من المركبات الذائبة الناتجة من تجوية الصخور. وتعتبر معادن الطين أحد أهم المعادن الثانوية فى الأراضى؛ وذلك بسبب مالها من سطح نوعى كبير وقدرة تفاعلية كبيرة مع المركبات الأيونية والمركبات العضوية الذائبة، وسوف تناقش بتفاصيل أكثر فى الجزء القادم. وتتراكم الكربونات والكبريتات فى الأفق B وهى تمثل المعادن الثانوية السائدة الموجودة فى أراضى المناطق الجافة وشبة الجافة.

ويوجد الكربون فى جميع الأراضى فى صورة مادة عضوية. ويختلف محتوى المــادة العضوية فى الأراضى من أقل من ١٪ فى الأراضى الخشنة القوام وأراضى المناطق الجافة إلى حوالى ١٠٠٪ فى بعــض الأراضى العضــوية رديئة الصرف، وقد تحتوى الأراضى المنزرعة ٢ – ١٠٪ مادة عضوية. وتؤثر المادة العضوية على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، كما يتحسن فى الغالب البناء الأرضى بإضافة المادة العضوية مثل السماد الحيوانى، وحمأة المجارى، والسماد العضوى الصناعى (كمبوست)، وبقايا المحاصيل التى تُقلب أو يتم تدويرها فى الأرض.

جدول ٢- ٧ المعادن الأولية والثانوية الشائع وجودها فى الأراضي.

المعدن	الصيغة الكيميائية	القابلية للتجوية
المعادن الأولية:		
كوارتز	$Si O_2$	الأكثر مقاومة
مسكوفيت	$K Al_3 Si_3 O_{10} (OH)_2$	
ميكرولين	$K Al Si_3 O_8$	
أوثوكلاز	$K Al Si_3 O_8$	
بيوتيت	$K Al (Mg, Fe)_3 Si_3O_{10} (OH)_2$	
ألبيت	$Na Al Si_3 O_8$	
هورنبلند	$Ca_2 Al_2 Mg_2 Fe_3 Si_6O_{22} (OH)_2$	
أوجيت	$Ca_2 (Al,Fe)_4 (Mg,Fe)_4 Si_6O_{24}$	
أنورثيت	$Ca Al_2 Si_2 O_8$	
أوليفين	$(Mg,Fe)_2 , Si O_4$	الأقل مقاومة
المعادن الثانوية:		
جيوثيت	$Fe OOH$	الأكثر مقاومة
هيماتيت	$Fe_2 O_3$	
جبسيت	$Al (OH)_3$	
معادن الطين	Aluminosilicates	
دولوميت	$Ca Mg (CO_3)_2$	
كالسيت	$Ca CO_3$	
جبس	$Ca SO_4 H_2O$	الأقل مقاومة

المصدر: Brady, 1990.

٢ – ٤ – ٢ الخواص الكيميائية للأراضي :

نوبان المعادن، ورقم الحموضة (pH)، والتبادل الكاتيونى والأنيونى، والفعل التنظيمى، وتيسر العناصر الغذائية، جميعها تمثل الخواص الكيميائية الرئيسية للأراضى. وجميعها تعتمد بصفة أولية على طبيعة وكمية معادن الطين والمادة العضوية الموجودة فى الأراضى. وإن معرفة كيمياء المحلول الأرضى مهم جدا لفهم كيفية استخدام المخلفات مثل السماد الحيوانى، وحمأة المجارى، والنواتج الثانوية للغذاء. وفى هذا الجزء سنتعرض لخواص معادن الطين والمادة العضوية وسنصف تفاعلات التربة التى يتم التحكم فيها بواسطة هذه المواد.

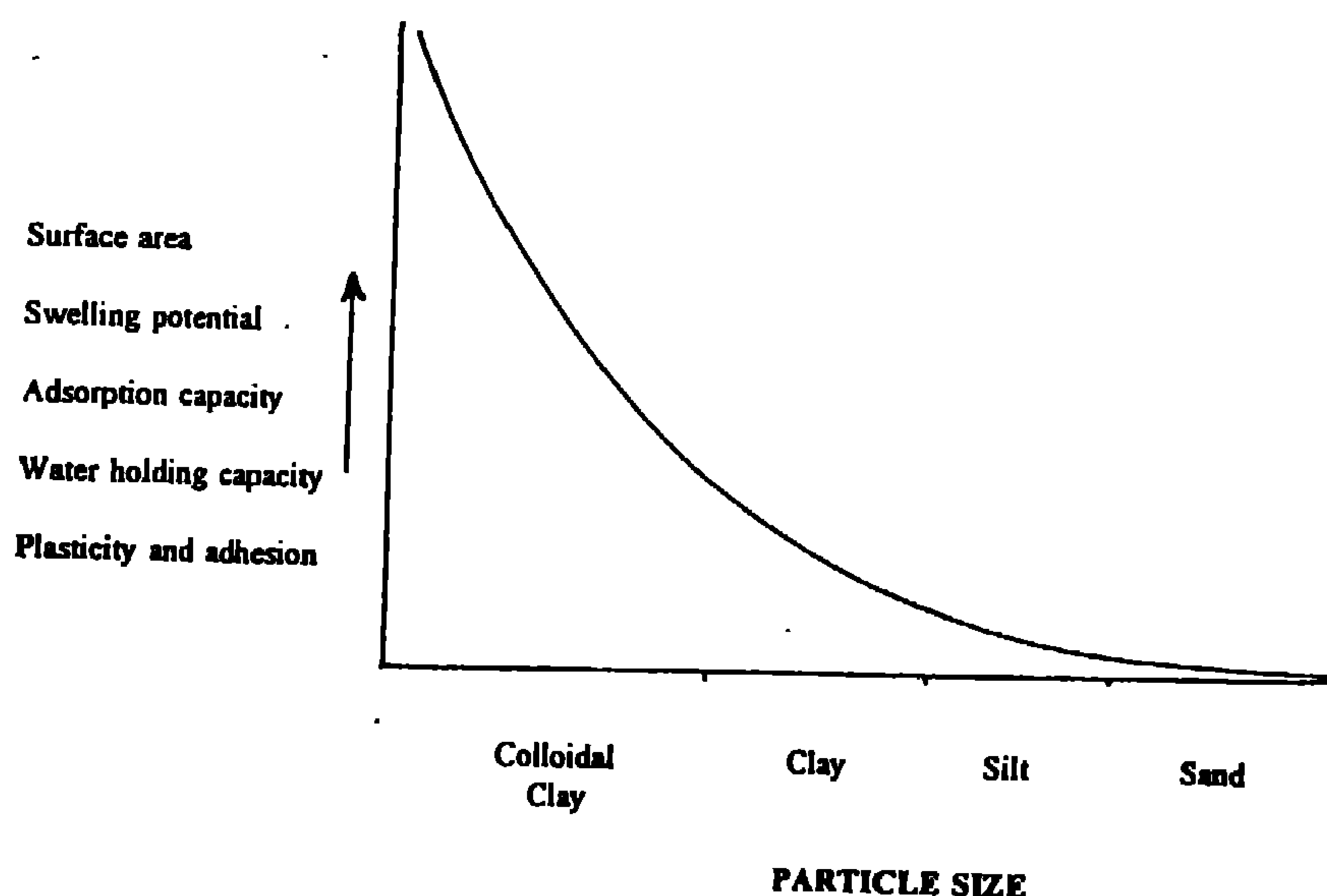
٢ – ٤ – ٢ – ١ معادن الطين :

تعرف معادن الألومينو سليكات الطبقية بمعادن الطين، وهى لها تأثير كبير على كثير من التفاعلات الكيميائية فى التربة ؛ وذلك لكبر مساحة السطح «النشطة» لها (شكل ٢ – ٩). ويشير المصطلح «نشط» إلى الشحنات التى تتكون على سطوح معدن الطين وعلى قدرة بعض أنواع معادن الطين على التمدد. ولا يجب الخلط بين معادن الطين وحبيبات التربة التى لها حجم الطين بسبب أن الأخيرة يمكن أن تحتوى أيضا على حبيبات كوارتز، وكالسيت، وجبس والتى تكون أقطارها ٢ ميكرون أو أقل.

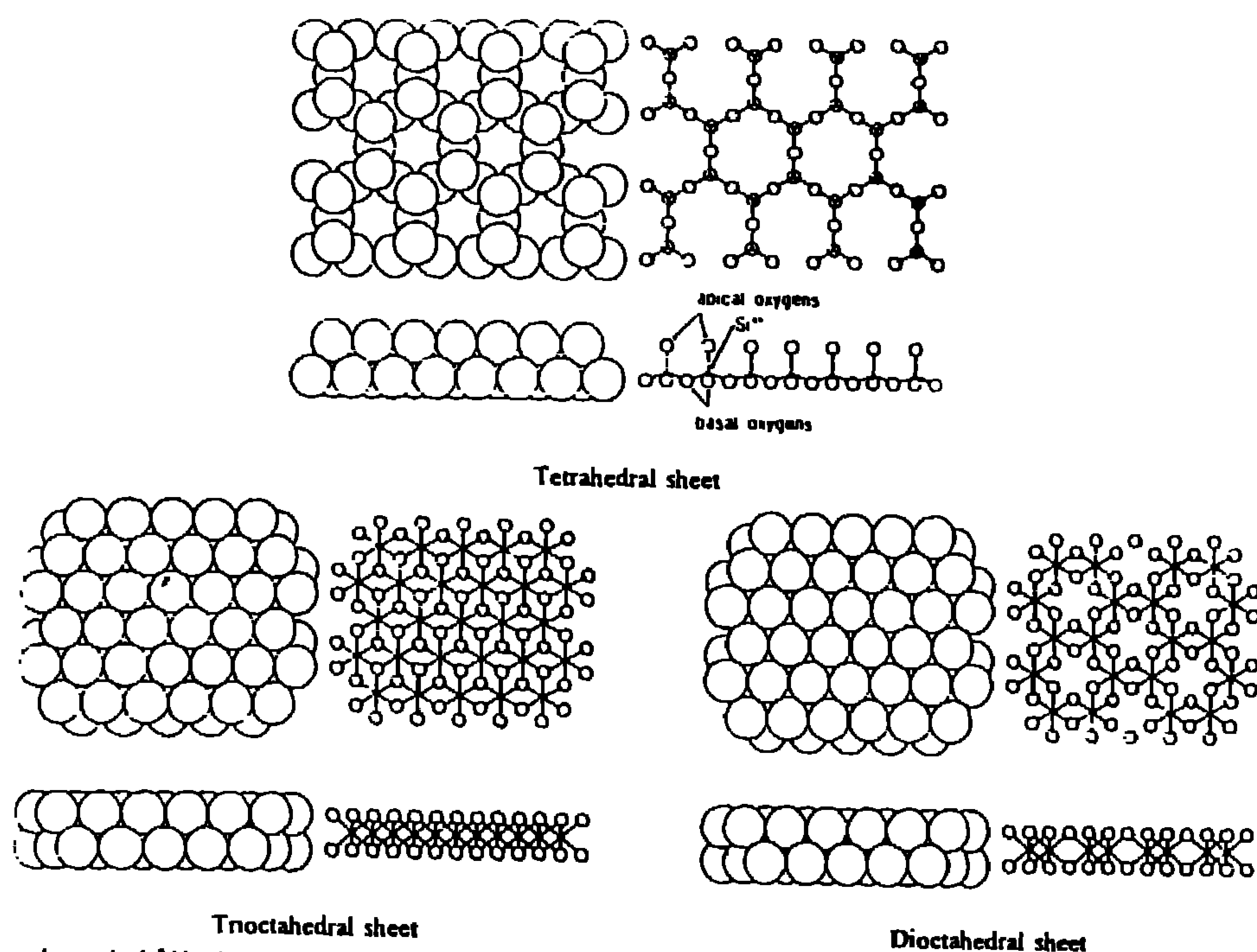
معادن الطين المهمة بللورية، وتتكون من طبقات منتظمة من صفائح التتراهيدرا والأوكتاهيدرا (شكل ٢ – ١٠). وتتكون صفائح التتراهيدرا من ذرات السليكون والأكسجين، وتشترك ثلاثة من كل أربع ذرات أكسجين مع مجموعة التتراهيدرا المجاورة. وذرات الأكسجين المشتركة هذه يشار إليها على أنها ذرات الأكسجين القاعدية (الأساس) لصفيحة التتراهيدرا. وتسمى ذرة الأكسجين المتبقية وغير المشاركة بالأكسجين القمية (العليا). أما صفائح الأوكتاهيدرا فهى نوعان: داى أوكتاهيدرا، تراى أوكتاهيدرا.

صفائح داى أوكتاهيدرا يكون فيها اثنان من كل ثلاثة مواقع أوكتاهيدرا مشغولة أو مرتبطة غالبا مع كاتيون الألومنيوم الثلاثى. بينما فى حالة صفائح تراى أوكتاهيدرا تكون جميع المواقع مشغورلة بكاتيونات ثنائية وعادةً هو أيون المغنسيوم.

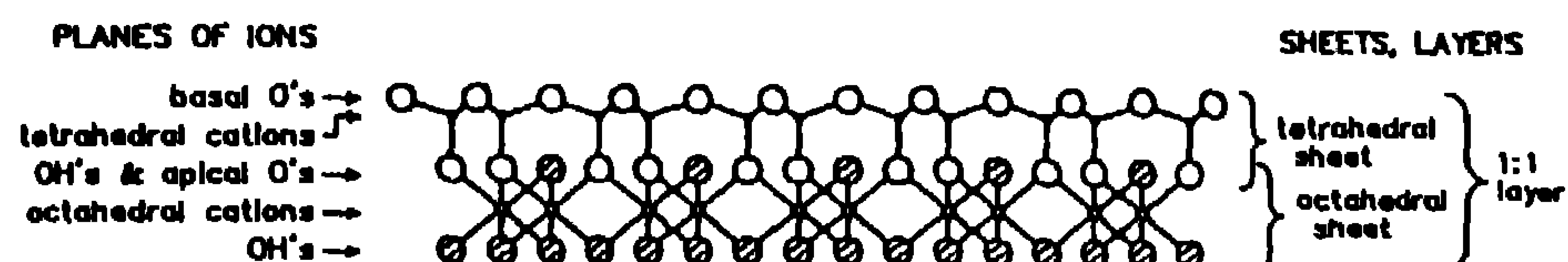
ومعادن الطين السليكاتية الطبقية ذات تركيب إما ١ : ١ ، أو ٢ : ١، أو ٢ : ١ : ١ طبقات من صفائح التتراهيدرا والأوكتاهيدرا، وتحتوى معادن الطين من النوع ١ : ١ على صفيحة واحدة من التتراهيدرا، وصفيحة واحدة من الأوكتاهيدرا، يرتبطان معًا عن طريق مشاركة ذرات أكسجين التتراهيدرا القمية (شكل ٢ – ١١). ومعادن الطين من النوع ٢ : ١ تتكون من صفيحة أوكتاهيدرا محصورة بين صفيحتين من التتراهيدرا (شكل ٢ – ١١). أما طبقة معادن الطين من النوع ٢ : ١ : ١ فهى شبيهة بمعادن الطين ٢ : ١ مع إضافة صفيحة إضافية من النوع داى أوكتاهيدرا أو تراى أوكتاهيدرا بين طبقات ٢ : ١.



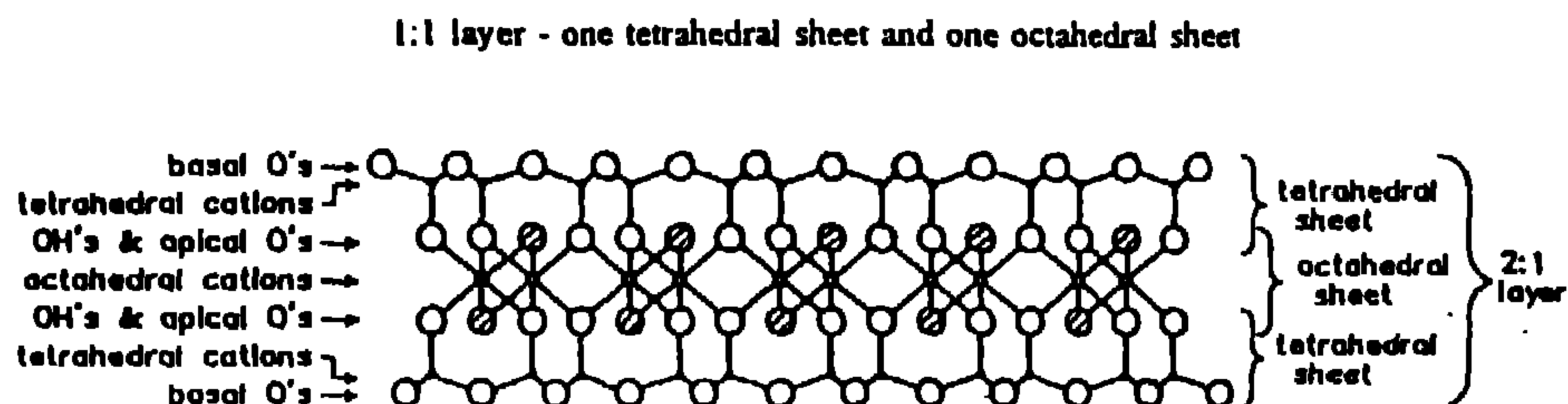
شكل ٢ – ٩ العلاقة بين حجم الحبيبة والخواص الكيميائية والفيزيائية للأراضى.



شكل ٢ – ١٠ رسم تخطيطي (يوضح الفراغات وترتيب الروابط) لصفائح التتراهيدرا والأوكتاهيدرا.
(Schulze , 1989.)



1:1 layer - one tetrahedral sheet and one octahedral sheet



شكل ٢ – ١١ التخطيط البنائي لطبقات معادن الطين من النوع ١ : ١ ، ٢ : ١ موضحاً الروابط الكيميائية بين العناصر.
(Schulze , 1989.)

معـادن الطـين الرئيسـية الموجودة فـى الأراضـى موضـحـة فى جدول ٢ – ٨. الكاؤولينيت والهـالوسـيت من النوع ١ : ١، وفـيـهـمـا تكون ذرات السليكون فى مـواقع التـتراهيدرا، بينما تكون ذرات الألومنيوم فى مـواقع الأوكتـاهيدرا. وترتبط طبقـات معادن الطين من النوع ١ : ١ مع بعضـهـا البعض بإحكام بواسطة روابط هيدروجينية تتكون بين ذرات الأكسجين القاعدية لصفائح التتراهيدرا ومجاميع الهيدروكسيل لصـفـيـحـة الأوكتـاهيدرا المجاورة. وينتـشـر الكاؤولينيت فى الأراضى بينمـا يعتـبـر الهالوسيت أقل ثباتا، وفى الغالب يتحول إلى كاؤولينيت على مدار الزمن.

الإحلال المتماثل :

يحدث الإحلال المتماثل عندما يحل عنصر محل آخر فى التركيب المعدنى، مثلما يحل Al^{3+} مـحل السليكون Si^{4+}، وعندمـا يحل عنصـر شحنته أقل مـحل عنصـر ذو شحنة أعلى، ينتج عن ذلك شحنة سالبة سائدة فى معدن الطين. ولكل من الكاؤولينيت (شكل ٢ – ١٢) والهالوسيت شحنة سطحية صغيرة جدا بسبب انخفاض الإحلال المتمـاثل فى تركيبـهـمـا البنائى . معـادن الإليت أو الميكا المائيـة من النوع ٢ : ١ غـير المتمدد، وهى معادن من النوع داى أوكتاهيدرا يوجد فيها البوتاسيوم فى **الفراغات الموجـودة بين الطبقات الداخلية** (المنطقة أو الفرا غ بين طبقات معادن الطين من النوع ٢ :١) (شكل ٢ – ١٢). وترتبط ذرة البوتاسيوم بقـوة فى الطبقـات الداخلية، وعـادة يشـار إلى أنها **غير قابلة للتـبادل** . ويعـتـبر مـعدن المـونتمو ريللونيت أحد معـادن الطين العـديـدة المكونة لعائلة **سمكتيت** (شكل ٢ – ١٢). ومعادن السمكتيت من النوع ٢ : ١ وفيها الإحلال المتماثل منخفض إلى متوسط. وبسبب الشحنة الدائمة المنخفضة لها فإن مـعادن السمكتيت قـادرة على التمـدد، وهذا يزيد مـساحـة السطح المعرض. إن مساحة السطح المرتفعة بالإضافة إلى كمية المواقع المشحونة تعطى معادن السمكتيت القدرة على ادمصـاص الكاتيونات. **والسعة التبادلية الكاتيونية** (CEC) هى كمية مواقع

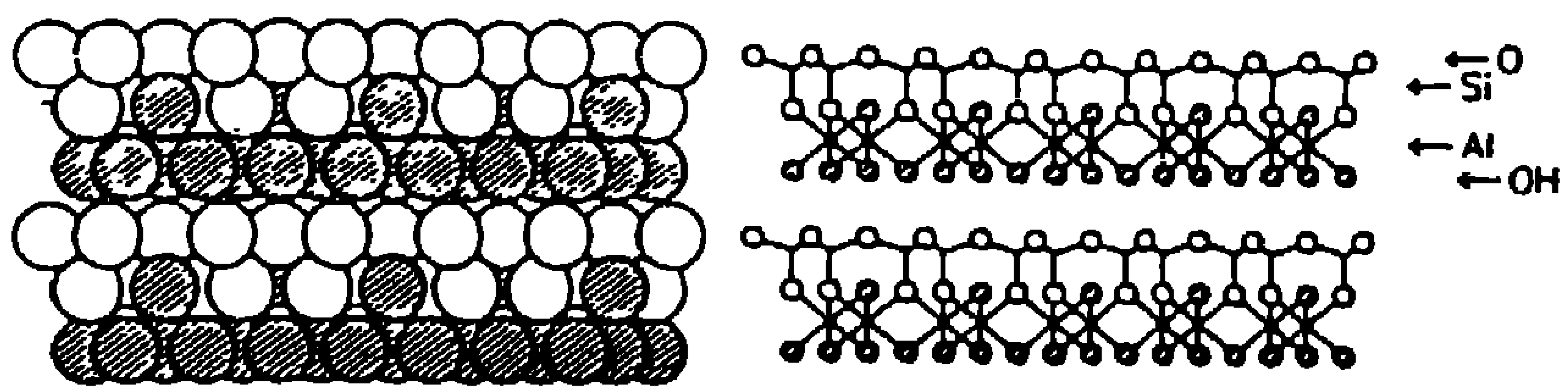
جدول ٢- ٨ معادن الطين الشائعة فى الأراضى.

المعدن	الصيغة الكيميائية العامة
نوع ١ : ١	
كاؤولينيت	$Al_4\ Si_4\ O_{10}\ (OH)_8$
هالو سيت	$Al_4\ Si_4\ O_{10}\ (OH)_8\ 4H_2O$
نوع ٢ : ١	
إليت	$Al_4\ (Si_6\ Al_2)\ O_{20}\ (OH)_{48}\ nH_2O$
سمكتيت:	
مونتموريللونيت	$M_x\ (Al\ 4 - x\ Mg_x)\ Si_8\ O_{20}\ (OH)_4$
بيديليت	$M_x\ Al\ 4\ (Si\ 8 - x\ Al_x)\ O_{20}\ (OH)_4$
نونترونيت	$Mg\ Fe_4\ (Si\ 8 - x\ Al_x)\ O_{20}\ (OH)_4$
ڤرمكيوليت	$Mg\ (Al, Fe, Mg)_4\ (Si_6\ Al_2)\ O_{20}(OH)_4\ {}^{n}H_2O$
نوع ٢ : ١ : ١	
كلوريت	$Mg_6\ (OH)_{12}\ (Mg_5\ Al)\ (Si_6\ Al_2)\ O_{20}\ (OH)_4$

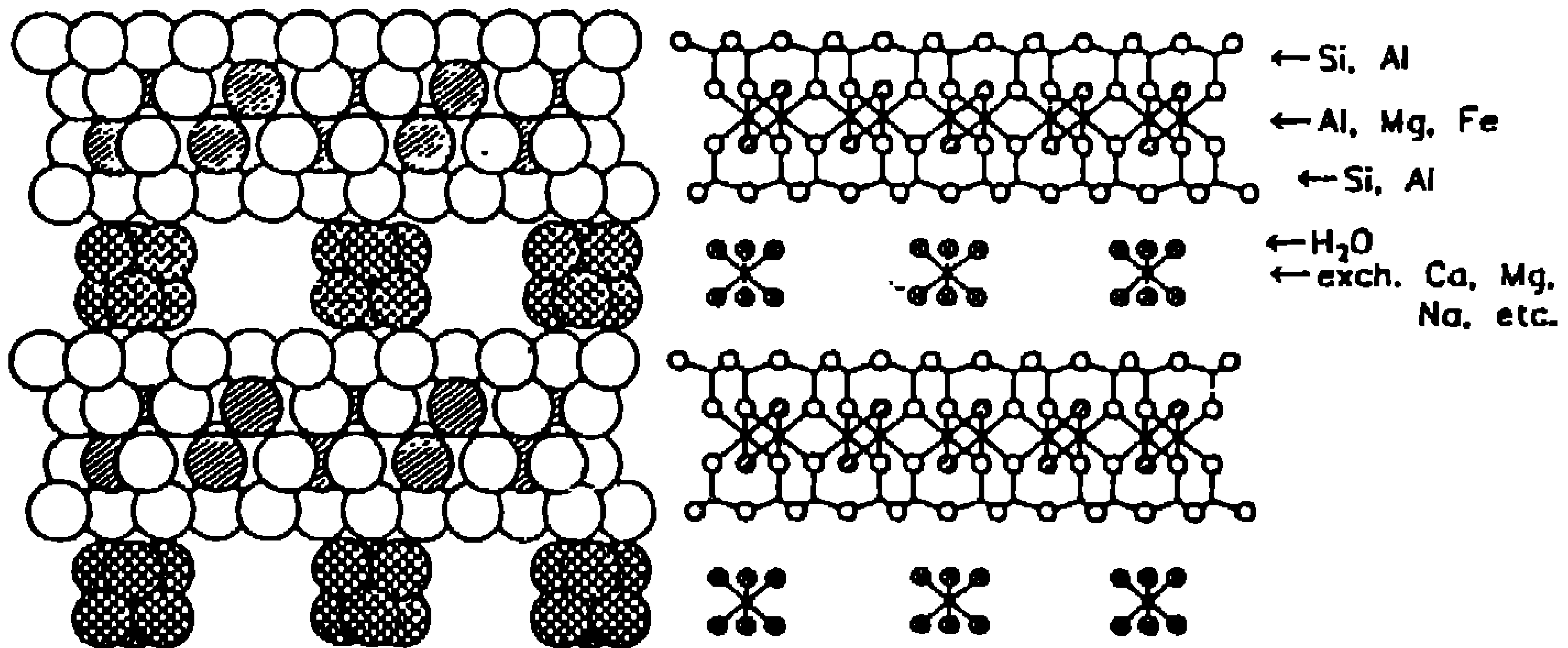
حرف M يمثل كاتيون أحادى التكافؤ

التبادل التى تستطيع أن تدمص الكاتيونات وتطلقها. ومعدن المونتموريللونيت هو أكثر معادن السمكتيت شيوعا فى معظم الأراضى. الفرمكيوليت (شكل ٢ – ١٢) من النوع ٢ : ١ : ١، وفيه الإحلال المتماثل عالٍ. وتحتوى الطبقات الداخلية للفرمكيوليت أيونات مغنسيوم قابلة للتبادل. ومع ذلك، فنظراً لأن شحنة طبقات الفرمكيوليت أكبر، فإن أيونات المغنسيوم فى الطبقات الداخلية للفرمكيوليت ترتبط بقوة أكبر مقارنة بالمغنسيوم المحتجز فى الطبقات الداخلية لمعادن السمكتيت. وبالرغم من أن الفرمكيوليت له سعة تبادلية كاتيونية عالية، فهو عندما يكون مشبعا بدرجة كبرة بأيونات البوتاسيوم أو الأمونيوم يصبح غير قابل للتمدد. ومعدن الكلوريت سائد فى كثير من الأراضى. والفراغات الموجودة بين الطبقات من النوع ٢ : ١ فى الكلوريت تكون ممتلئة أو مشغولة بواسطة صفائح أو كتاهيدرا المغنسيوم، ويصبح بذلك معدن سليكاتى من النوع ٢ : ١ : ١. مساحة السطح لمعادن الكلوريت منخفضة وذلك راجع إلى انجذاب طبقة البروسيت (صفيحة أوكتاهيدرا المغنسيوم) بواسطة طبقات ٢ : ١، وهذا يخفض من قيمة السعة التبادلية الكاتيونية لهذه المعادن.

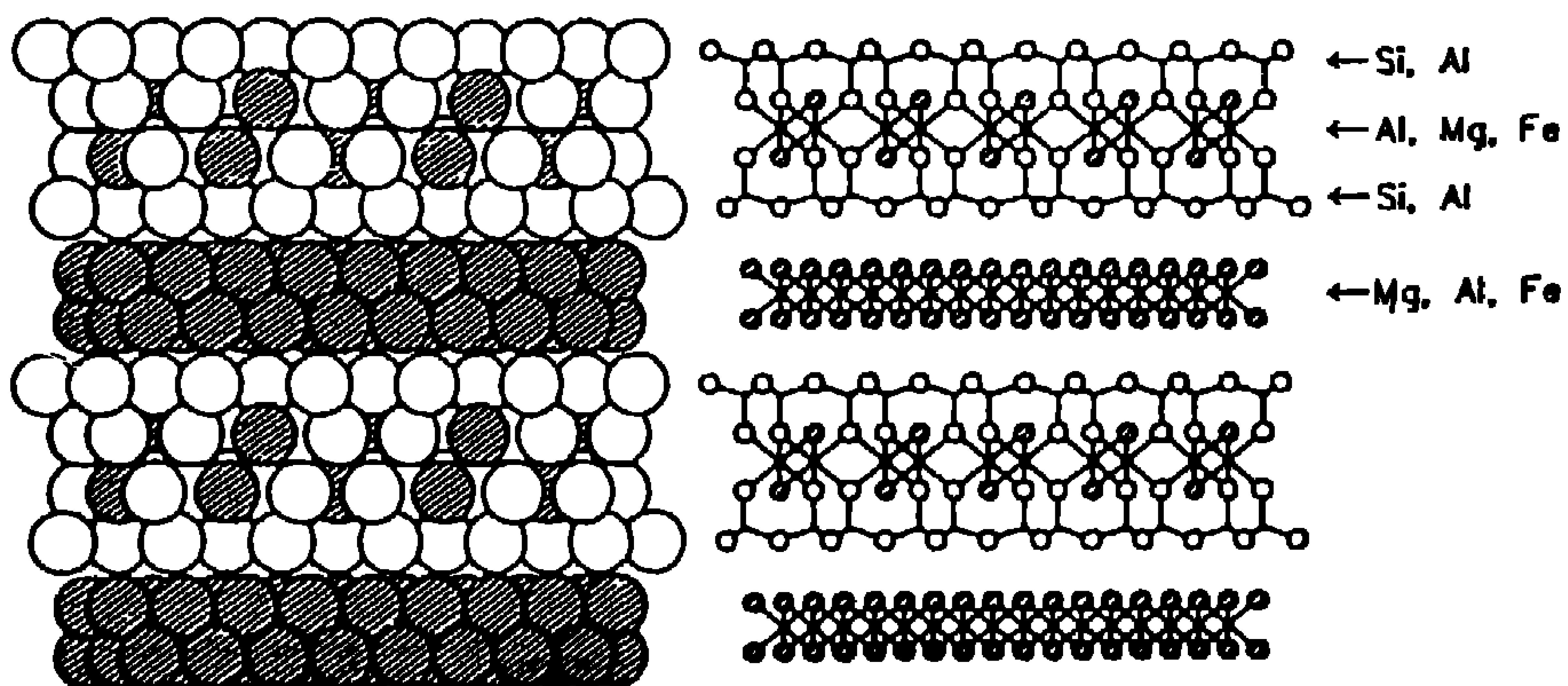
يوضح شكل ٢ – ١٣ الظروف العامة التى تؤثر فى تكوين معادن الطين والأكاسيد. وبعض معادن الألومنيو سليكات الأولية يحدث لها تجوية فيزيائية وكيميائية وتنتج معادن طين، ويعتبر المسكوفيت المتحول إلى إليت مثالاً جيداً لهذا التحول. كلٌ من المسكوفيت والإليت له تركيب بنائى ٢ : ١؛ ومع ذلك، فإن التجوية الفيزيائية، وفقد البوتاسيوم، والتغير البسيط فى التركيب البنائى للمسكوفيت يُنتج عن كل ذلك معدن إليت له سعة تبادلية كاتيونية أقل ودرجة انتفاخ أكبر. وبعض معادن الطين عبارة عن نواتج لأيونات منطلقة أُعيد تبلورها خلال عملية تكسير معادن أخرى. فيتكوّن معدن الكاؤولينيت، من النوع ١ : ١، نتيجة إعادة التبلور ؛ حيث إنه لا توجد معادن أولية أو ثانوية لها تركيب بنائى مماثل للتركيب ١ : ١. وكما يلاحظ فى شكل ٢ – ١٣، يتكون معدن الكاؤولينيت مباشرة من الأيونات المنطلقة من تجوية معادن الألومينو سليكات الأولية أو السمكتيت إذا حدث له فقد سريع للكاتيونات. وتعتبر التجوية الشديدة هى المسؤولة عن فقد السليكون وإنتاج أكاسيد حديد وألومنيوم.



Kaolinite



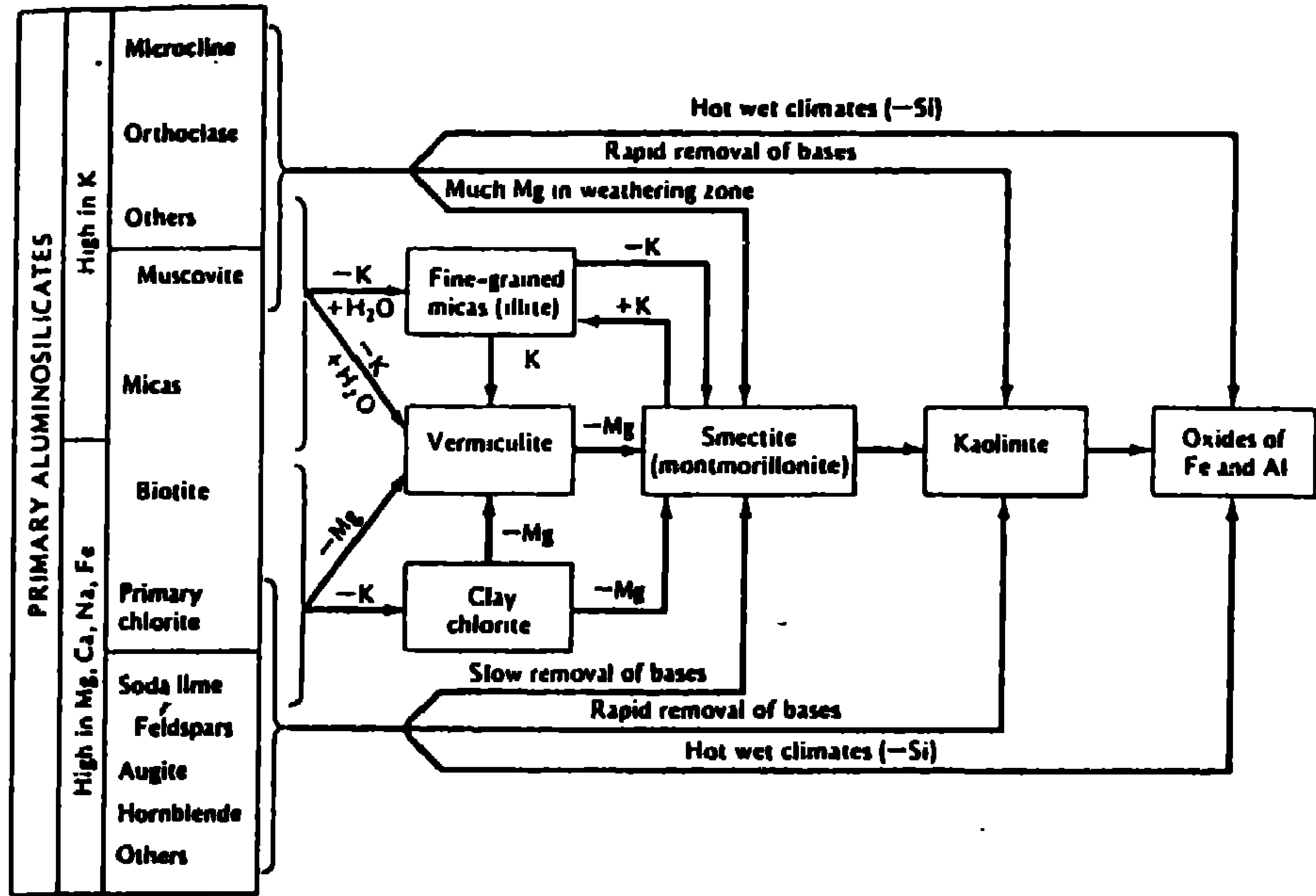
Smectite and Vermiculite



Chlorite

شكل ٢ – ١٢ التركيب البنائى لمعـــادن طين الكاؤولينيت (١ : ١)، والسمكتيت والفرمكيوليت (٢ : ١)، والكلوريت (٢ : ١ : ١).

(Schulze , 1989.)



شكل ٢ – ١٣ تسلسل تكوين معادن الطين وأكاسيد الحديد والألومنيوم. لاحظ فقد الكاتيونات الذائبة فى عملية نشوء وتكوين معادن الطين.

المصدر: Brady, 1990.

٢ – ٤ – ٢ – ٢ المادة العضوية :

تلعب المادة العضوية دوراً مهماً فى كيمياء الأراضى. وتشمل خواص الأراضى المرتبطة بمادة التربة العضوية: بناء التربة، إمداد العناصر الغذائية الكبرى والصغرى، السعة التبادلية الكاتيونية، ومقاومة التغير فى رقم الحموضة. بالإضافة إلى ماسبق، تعتبر المادة العضوية أيضا مصدر الكربون والطاقة اللازمة للكائنات الدقيقة.

وتتكون المادة العضوية من مخلفات النبات والحيوان المتحللة. وهى خليط معقد جداً من المركبات الكربونية التى تحتوى أيضا على نتروجين، وكبريت، وفوسفور . وهى تتركب من مواد دبالية، ومركبات بيوكيميائية. ولقد تَمَّ تجريبيا تعريف المواد الدبالية بناءً على خواص الإذابة لها بأنها: أحماض الهيوميك، تذوب فى القواعد ولا تذوب فى الأحماض ، وأحماض الفولفيك، تذوب فى الأحماض ولا تذوب فى القواعد، والهيومين وهو المادة غير الذائبة والمتبقية بعد استخلاص حمض الهيوميك وحمض الفولفيك . وتشمل المركبات البيوكيميائية مركبات عضوية يمكن تحديدها مثل : الأحماض العضوية ، البروتينات ، السكريدات العديدة، السكريات، والليبيدات. ويوضح جدول ٢ – ٩ الخواص العامة للمادة العضوية فى التربة وتأثيرها على الأراضى .

من وجهة نظر الجودة البيئية يمكن أن تكون المادة العضوية فى التربة مفيدة وضارة، فيمكنها أن تدمص ملوثات العناصر النادرة (مثل: الرصاص، الكادميوم، النحاس)، وهذا بالتالى يقلل من فرصة تلوث المياه السطحية والجوفية. وهناك ميزة أخرى هى ادمصاصها للمبيدات والكيماويات العضوية، وهذا يقلل من احتمال حدوث تأثيرات مستقبلية للمبيدات، ويمنع تلوث البيئة، ويشجع التحلل البيولوجى وغير البيولوجى للمبيدات والكيماويات العضوية. وبالإضافة إلى ذلك، فمعروف أن للمادة العضوية مقدرة على ادمصاص الغازات غير العضوية (مثل أكسيد النتريك وأكسيد النتروز) والعضوية (مثل أول أكسيد الكربون).

وبالرغم من وجود فوائد كثيرة للمادة العضوية فى التربة، فلها أيضا تأثيرات ضارة تحدث تحت ظروف معينة ؛ فالأراضى الغنية فى المادة العضوية قد تتطلب معدلات أعلى من المبيد المضاف لإحداث مقاومة فعالة. ويحدث تلوث للمياه إذا غسلت هذه المبيدات أو نقلت عن طريق التجوية بالرياح أو بالمياه.

وللأراضى قدرة محددة لادمصاص العناصر النادرة، ويجب ألاّ تُستخدم الأراضى لاستقبال إضافات لمدد طويلة من المخلفات العضوية مثل حمأة المجارى والأسمدة الحيوانية التى تحتوى على مستويات عالية من العناصر النادرة. ويمكن أن

جدول ٢ – ٩ خواص المادة العضوية فى التربة، وتأثيراتها على التربة.

الخاصية	ملاحظات	التأثير على التربة
اللون	اللون الأسود لكثير من الأراضى سببه المادة العضوية.	يسهل التدفئة
الاحتفاظ بالماء	تستطيع المادة العضوية أن تحتفظ بمقدار ٢٠ مرة من وزنها ماء.	تساعد فى منع الجفاف والانكماش، وقد تحسّن بدرجة كبيرة خواص حفظ الأراضى الرملية للماء.
الارتباط مع معادن الطين	الوحدات البنائية المرتبطة مع بعضها تسمى تجمعات أرضية.	تسمح بتبادل الغازات، تزيد درجة ثبات البناء الأرضى، كما تزيد النفاذية.
الخلب	تكوّن مركبات معقدة ثابتة مع الحديد، والمنجنيز، والزنك، والكاتيونات الأخرى عديدة التكافؤ.	يزيد من تيسر العناصر الغذائية الصغرى للنباتات الراقية.
الذوبان فى الماء	إن عدم ذوبان المادة العضوية راجع إلى ارتباطها بالطين. كما أن أملاح المادة العضوية مع الكاتيونات الثنائية والثلاثية غير ذائبة. المادة العضوية المفصولة تذوب جزئيا فى الماء.	نسبة صغيرة من المادة العضوية تُفقد مع الغسيل.
الفعل التنظيمى	تقاوم المادة العضوية التغير فى رقم الحموضة على المدى الحامضي والمتعادل والقاعدى	تساعد فى المحافظة على رقم حموضة موحد فى التربة.
السعة التبادلية الكاتيونية المعدنة	تتـــرواح للدبال من ٣٠٠ – ١٤٠٠ ملليمكافئ / ١٠٠جم.	ترتفع لمعظم الأراضى بحوالى ٢٠ – ٧٠٪.
	ينتج عن تحلل المادة العضوية ثانى أكسيد كربون، أمونيوم، نترات، فوسفات، كبريتات.	مصدر للعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات.
الارتباط مع جزئيات عضوية	يؤثر فى النشاط الحيوى للمبيدات، وكذلك فى مدة بقائها وقابليتها للتحلل البيولوجى.	يقلل معدل إضافة المبيد اللازم لتحقيق مكافحة فعالة.

تؤدى الإضافات المتكررة للمخلفات المحتوية على عناصر نادرة (انظر الفصل السابع) إلى الوصول إلى مستويات سامة للنبات، كما يمكن أن تكون أيضا سامة للإنسان والحيوانات التى تتغذى على النباتات النامية فى الأراضى الملوثة.

٢ – ٤ – ٢ – ٣ التبادل الأيونى :

التبادل الأيونى هو أحد أهم وظائف الأراضى ؛ فعندما يحدث الإحلال المتماثل، فإن الكاتيونات المنخفضة الشحنة تحل محل كاتيونات عالية الشحنة، وتتكون نتيجة ذلك شحنة دائمة، كما يمكن أن تتكون المواقع المشحونة أيضا كدالة للـ pH. وتتكون الشحنات السطحية على معادن الطين، والأكاسيد المعدنية، والمادة العضوية، وتتكوّن هذه المواقع المشحونة نتيجة التحلل الأيونى (انفصال أيونات الهيدروجين) أو تكوين بروتونات للمواقع المشحونة ؛ ينتج عن التحلل الأيونى مواقع سالبة الشحنة، بينما ينتج عن تكوين البروتونات مواقع موجبة الشحنة. ويعتمد كُل من هذين التفاعلين على رقم الحموضة وتسمى شحنات معتمدة على pH. وكلما ارتفع رقم الحموضة، تزداد أو تكبر السعة التبادلية الكاتيونية للتربة، وهذا راجع إلى الزيادة فى كمية المواقع المشحونة المعتمدة على pH. وتحت ظروف الأراضى الحامضية، يكون لبعض معادن الطين، والأكاسيد المعدنية، والمادة العضوية مواقع مشحونة موجبة وتسبب تبادلاً أنيونيا، وتتجذب إلى سطح التربة الأيونات غير العضوية والعضوية التى لها شحنات معاكسة لشحنات مواقع التبادل.

ولكُل من معادن الطين والمادة العضوية القدرة على ادمصاص الكيماويات الذائبة من المحلول الأرضى. بالإضافة إلى ذلك، فإن معادن الطين ذات الحجم الغروى والمادة العضوية الذائبة يمكن أن تشجع غسيل وانتقال المعادن الثقيلة والكيماويات العضوية (مثل المبيدات) والملوثات الأخرى الخطيرة.

٢ - ٤ - ٣ الغلاف الحيوى :

يتكوّن الجزء الحى من التربة من النباتات، والحيوانات، والكائنات الدقيقة. وتختلف مجتمعات التربة من تربة إلى أخرى وتشمل: جذور النبات، القوارض، الديدان، الحشرات، وهذه جميعها ترى عادة بالعين المجردة، الكائنات الدقيقة (البكتريا، الأكتينوميسيتات، الفطر، الطحالب، البروتوزوا) وهذه صغيرة جدا بدرجة تحتاج إلى مجهر (ميكروسكوب) لرؤيتها. وتؤثر عوامل كثيرة مثل المطر الساقط، ودرجة الحرارة، والكساء الخضرى، وخواص التربة الطبيعية والكيميائية فى نوع وأعداد الكائنات الحية فى مجتمع التربة. ويوضح جدول ٢ - ١٠ الأعداد النسبية وكثافة الكتلة الحيوية (وزن الكائن لكل وحدة الحجم) للحيوانات والكائنات الدقيقة فى عينة أرض سطحية (لاحظ الأعداد الكبيرة جدا للكائنات الدقيقة).

يمكن أن تقسم الكائنات التى تعيش فى بيئة التربة إلى قسمين رئيسيين هما:

ذاتية التغذية وهى التى تقوم بتمثيل الكربون من ثانى أكسيد الكربون، وتحصل على الطاقة من ضوء الشمس أو من خلال أكسدة المركبات غير العضوية.

عضوية التغذية وهى التى تستخدم الكربون العضوى كمصدر للطاقة والكربون. وتسمى الكائنات ذاتية التغذية **كائنات منتجة** ؛ وذلك بسبب قدرتها على تحويل ثانى أكسيد الكربون والطاقة من الشمس إلى مركبات كربون عضوية، وهى العملية التى تسمى **بالتمثيل الضوئى**. وتعتبر النباتات الوعائية فقط وبعض البكتريا والطحالب كائنات منتجة. من ناحية أخرى، فإن الكائنات عضوية التغذية يشار إليها على أنها **كائنات مستهلكة وكائنات مُحلِّلة**. وتقع حيوانات التربة ومعظم كائناتها الدقيقة فى هذا القسم.

جدول ٢- ١٠ أعداد وكثافة الكتلة الحيوية للحيوانات والكائنات الدقيقة فى الآفاق السطحية للأراضى.

الكائنات	الأعداد		كثافة الكتلة الحيوية كجم / هكتار
	لكل م٢	لكل جرام	
حيوانات التربة:			
ديدان الأرض	٢٠٠ — ٢٠٠٠	١ >	١١٠ — ١١٠٠
النيماتودا	$١٠^{٧}$ — $١٠^{٨}$	$١٠^{٤}$ — $١٠^{٥}$	١١ - ١١٠
غيرها	$١٠^{٤}$ — $١٠^{٦}$	متغيرة	١٧ — ١٧٠
الكائنات الدقيقة:			
البكتريا	$١٠^{١٤}$ — $١٠^{١٥}$	$١٠^{٨}$ — $١٠^{٩}$	٤٥٠ - ٤٥٠٠
الأكتينوميسيتات	$١٠^{١٣}$ — $١٠^{١٤}$	$١٠^{٧}$ — $١٠^{٨}$	٤٥٠ - ٤٥٠٠
الفطر	$١٠^{١١}$ — $١٠^{١٢}$	$١٠^{٥}$ — $١٠^{٦}$	١١٢٠ - ١١٢٠٠
الطحالب	$١٠^{١٠}$ — $١٠^{١١}$	$١٠^{٤}$ — $١٠^{٥}$	٥٦ - ٥٦٠
البروتوزوا	$١٠^{١٠}$ — $١٠^{١١}$	$١٠^{٤}$ — $١٠^{٥}$	١٧ - ١٧٠

المصـــدر: Brady, 1990.

٢ - ٤ - ٣ - ١ النباتات :

تعتبر الأجزاء الخضرية (فوق سطح الأرض) للنباتات مصدر الغذاء اللازم للكائنات المستهلكة مثل حيوانات الرعى والإنسان. أما أجزاء النبات التى تحت سطح الأرض (مثل: الجذور، الدرنات، الأعضاء الأخرى) تعتبر مصدراً للغذاء اللازم للإنسان والحيوانات، وكذلك أيضا للكائنات المحللة والمستهلكة فى التربة، وهى تؤثر فى نوع ونشاط الكائنات الدقيقة التى تعيش فى داخل الجذور وحولها.

الريزوسفير هو المنطقة التى حول الجذور والتى تتأثر بوجود الجذور، ويحتوى على كائنات دقيقة تتراوح من ١٠ - ١٠٠ ضعف الموجودة فى معظم التربة.

إفرازات الجذور تشمل المواد العضوية وغير العضوية التى توفر العناصر الغذائية للكائنات الدقيقة فى منطقة الريزوسفير.

وتؤدى المعيشة التكافلية بين جذور النبات والكائنات الدقيقة إلى العديد من التأثيرات المفيدة لكل من النبات والميكروبات. فالعُقد التى تتكوّن على جذور النباتات البقولية تُسببّها البكتريا القادرة على تحويل النتروجين الجوى (N_2) إلى مركبات نتروجينية يمكن استعمالها بواسطة النبات، ويعمل فطر الميكوريزا علاقة تكافلية مع جذور النبات، وتستفيد النباتات من هذه العلاقة عن طريق زيادة امتصاص العناصر الغذائية (مثل: النتروجين، الفوسفور، الكبريت، العناصر الغذائية الدقيقة) والماء.

٢ - ٤ - ٣ - ٢ حيوانات التربة :

تشمل حيوانات التربة جميع الحيوانات التى تؤثر بطريقة أو بأخرى فى خواص التربة ؛ فالحيوانات الكبيرة مثل الماشية والغزلان تؤثر فى الأراضى من خلال عمليات الرعى الجائر. وتشمل تأثيرات الرعى الجائر نقص الغطاء النباتى للأرض، وتغييراً فى تركيب الأصناف النباتية، وتضاغط التربة واحتمال حدوث انجراف للتربة. أما حيوانات

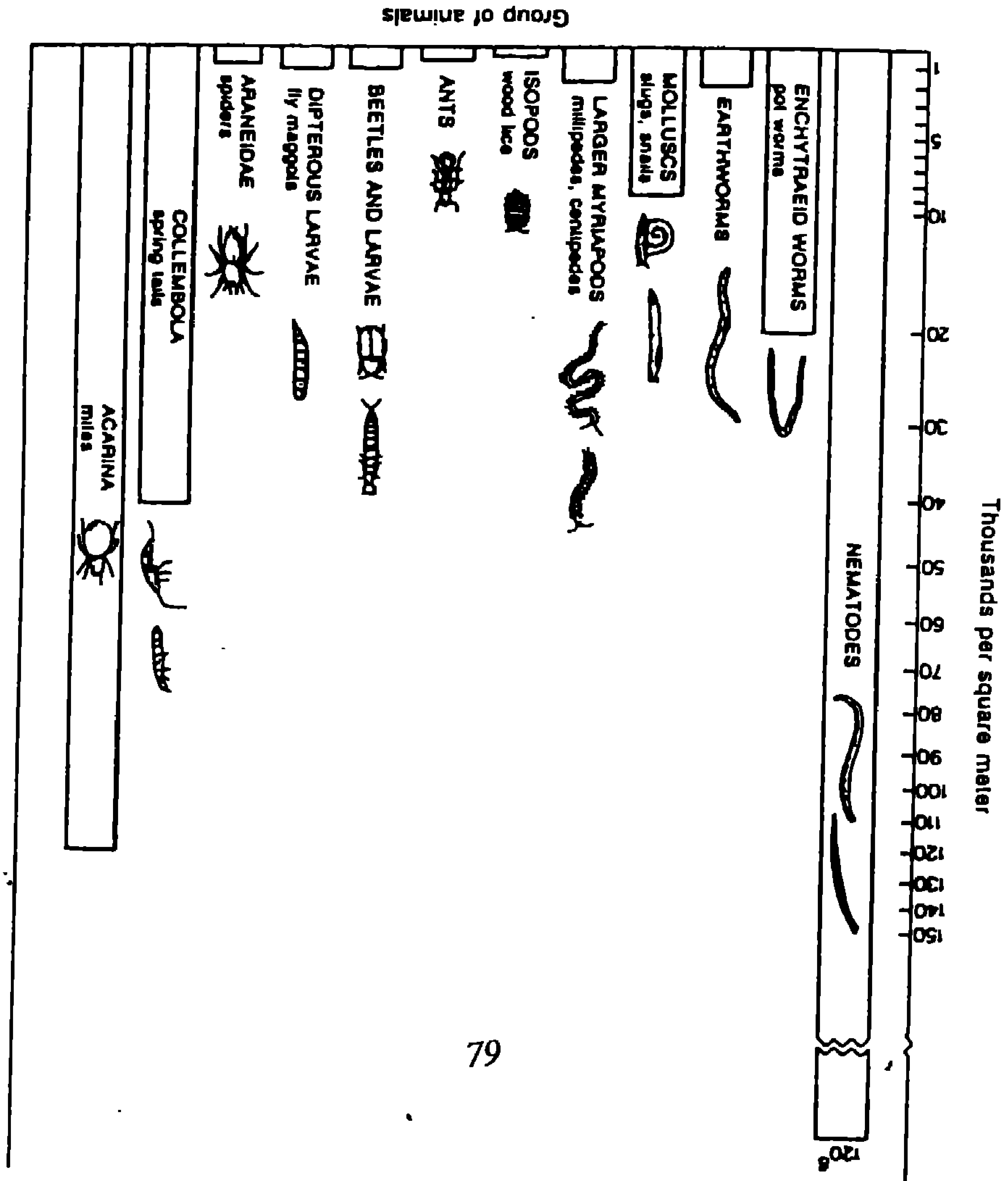
التربة التى حجمها أصغر ولها تأثير كبير على خواص الأراضى فهى التى تحفر جحوراً فى الأرض لتقيم وتختبئ فيها ؛ فالسلاحف، والزبّابات (آكلات الحشرات تشبه الفئران)، وكلاب البرارى، والغُرَيْر، وحيوانات الخُلد، والسنجاب، والفئران جميعها تمثل بعضا من الحيوانات التى تحفر جحوراً فى الأرض لتقيم وتختبئ فيها. ويمكن لهذه الحيوانات أن تؤثر بدرجة كبيرة فى تطور الأراضى عن طريق خلط مادة سطح التربة بمادة تحت التربة، كما أن الأنفاق والثقوب الناتجة عن هذه الحيوانات تزيد نفاذية الماء والهواء فى التربة، كما تشمل حيوانات التربة التى تعيش تحت سطح الأرض المفصليات (مثل النيماتودا، ديدان الأرض) والبروتوزوا. والنيماتودا عامة هى الأكثر شيوعا بين جميع حيوانات التربة (جدول ٢ – ١٠ ، شكل ٢ – ١٤).

وللعديد من الحيوانات المفصلية دور فى تحلل المواد النباتية، وتساعد أيضا فى خلط الأجزاء المكسورة فى التربة ؛ فالديدان الألفية تعتبر حيوانات رُمِّية وتستهلك المواد العضوية الميتة، كما أن النمل والنمل الأبيض، وأيضا كلاب البرارى يمكنها أن تخلط أحجاماً كبيرة من التربة خلال نشاطها فى عمل أنفاق.

تلعب ديدان الأرض دوراً مهماً فى تكوين الأراضى وتكسير المخلفات العضوية، وهى توجد عادة فى الأفق السطحى الغنى بالمادة العضوية، ولكن بعض أصنافها تحفر جحوراً لعمق يصل إلى ستة أمتار. وتبلع ديدان الأرض فى داخلها المادة العضوية والتربة ويتم تحليلها بواسطة إنزيمات هاضمة ، وكذلك بفعل الطحن أثناء مرورهما عبر أجسام الديدان . كل يوم ، فإن وزن مادة التربة المبلوعة والخارجة (المفرزة) بواسطة ديدان الأرض يمكن أن تكافئ وزن الديدان. ولقد تم تقدير وحساب كمية مادة التربة المفرزة بواسطة ديدان الأرض سنويا فى هكتار من الأرض ووجد أنها تتراوح من ٧٠ إلى ٢٥٠ ميجا جرام/ هكتار. وبراز ديدان الأرض غنى فى العناصر الغذائية مثل النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنسيوم مقارنة بمادة التربة الأصلية. ويمثل النوع **Lumbricus Terrestris** دودة الأرض الشائعة، وهى نوع واحد من أكثر من ١٨٠٠ نوع من دودة الأرض المعروفة فى العالم.

والنيماتودا عبارة عن ديدان مستديرة غير مقسمة ميكروسكوبية ويتم تصنيفها على أساس عاداتها الغذائية. فالأنواع التى تتغذى على المادة العضوية المتحللة هى الأكثر شيوعا، بينما تفترس الأنواع الأخرى البكتريا، والفطر، والطحالب، ونيماتودا أخرى، أو تصيب جـذور النبات، ويعتبر التدخين أو التبخير أحد طرق مقاومة النوع الأخير من النيماتودا، ومع ذلك، فإن طريقة المقاومة هذه مكلفة جدا وضارة جدا بالبيئة.

شكل ٢ – ١٤ رسم توضيحى لأنواع حيوانات التربة وأعدادها مقدرة فى متر مربع من تربة المراعى. (Paul and Clark , 1989.)



٢ – ٤ – ٣ – ٣ الكائنات الدقيقة في التربة :

تشمل الكائنات الدقيقة فى التربة البكتريا، والأكتينوميسيتات، والفطريات، والطحالب، والبروتوزوا. **والفيروسات** التى يقتصر نموها فقط فى داخل خلايا حية أخرى عبارة عن جزئيات من حمض الريبونيوكليك (RNA) أو حمض دى أكسى ريبو نيوكليك (DNA) داخل غلاف من البروتين، وسوف نناقشها هنا فى هذا الجزء فقط بسبب أنها تلعب دوراً مُهمًا فى علم ميكروبيولوجيا الأراضى، وتحتاج الفيروسات إلى كائن مضيف قابل للحياة وله القدرة على التمثيل الغذائي، وذلك لكى يتكاثر، وهى تُحَفِّز الكائن المضيف على أن يقوم بتصنيع المركبات الضرورية اللازمة لتكاثر الفيروس . وتسبب كثير من الفيروسات أمراضاً للنبات (مثل موزايك الدخان، تجعد أوراق البطاطس) والحيوانات (مثل الحمى القلاعية، واللوكيميا أو ابيضاض الدم البقرى). إن بقاء الفيروسات المرضية للإنسان والحيوان، والتى يُعرف أنها توجد فى حمأة المجارى والمخلفات العضوية، أمرٌ مُقلق ومزعج خاصة عندما تضاف هذه المواد إلى الأرض.

البكتريا أكثر الكائنات الدقيقة وفرة فى التربة (جدول ٢ – ١٠)، وخلايا البكتريا الفردية تعدُّ أصغر وأصعب مايمكن رؤيته تحت الميكروسكوب. إن حفنة من التربة تعادل قبضة اليد يمكن أن تحتوى عدة بلايين من الخلايا البكتيرية. وإن قدرة البكتريا على أن تتكاثر بسرعة وتتكيف مع ظروف البيئات الجديدة تمثل عاملاً مُهمًا فى تحلل وانتقال النواتج الطبيعية والبشرية. وبعض الوظائف التى تؤديها البكتريا، إما كليًا أو جزئيًا، تشمل: تدوير العناصر الغذائية، اوتحلل المواد العضوية، اوتثبيت النتروجين، او إزالة سمية المبيد، وتفاعلات التأكسد والاختزال. وبدون قيام البكتريا بهذه العمليات تصبح الحياة، كما نعرف، غير ممكنة.

وتقسم البكتريا إلى : ذاتية التغذية، أو عضوية التغذية، بناءً على مصادرها الطاقة والكربون، كما يمكن أن تقسم أيضا إلى مجاميع **هوائية** (تحتاج أكسجين)، **لا هوائية** (لا تحتاج أكسجين)، **اختيارية لا هوائية** (تنمو فى وجود أو غياب

الأكسجين). ويعتمد نوع ووفرة أى مجموعة من البكتريا على عوامل مثل العناصر الغذائية الميسرة والظروف البيئية للتربة. وتُكوِّن بعض البكتريا الهوائية واللاهوائية جراثيم تسمح لها بالبقاء تحت ظروف بيـئية معاكسة، خلال فترات الجفاف أو الحرارة العالية.

وظروف التربة التى تؤثر على نمو البكتريا عديدة، وأهمها: الأكسجين، درجة الحرارة، الرطوبة، الحموضة، حالة العناصر الغذائية العضوية وغير العضوية فى بيئة التربة. يكون كل من البكتريا والفطر عادة نشيطا فى الأراضى جيدة التهوية، ولكن فى الأنظمة البيـئية المحتوية على قليل من الأكسجين أو التى لا يتوفر فيها أكسجين البتة، فإن معظم التحولات البيولوجية والكيميائية تتحكم فيها البكتريا. ودرجة الحرارة المثلى، والرطوبة المثلى اللازمة لنمو معظم البكتريا هى ٢٠ – ٤٠ °م ، ٥٠ – ٧٥٪ من سعة حفظ التربة للماء، بالرغم من وجود مجاميع خاصة من البكتريا نشيطة عند درجات حرارة ونسبة رطوبة أعلى أو أقل. ويعتبر رقم الحموضة (pH) المرتفع جداً أو المنخفض جداً (الظروف القلوية والحامضية) غير مناسب لمعظم البكتريا، ولكن هناك بكتريا متخصصة نشيطة فى الأراضى التى لها pH أقل من ٣ وتلك التى لهاpH أعلى من ١٠.

الأكتينوميسيتات تشبه البكتريا فسيولوجيًا، ومع ذلك، فإن خيوطها الرفيعة المتفرعة تشبه أيضا الفطريات الخيطية. وفى معظم الأراضى، توجد البكتريا والفطريات بأعداد وفيرة أكثر من الأكتينوميستات (جدول ٢ –١٠)، ولكن فى بعض الأراضى ذات المناخ الدافئ فإن أعداد الأكتينوميستات قد تفوق أعداد الآخرين. وفى حين أن الأكتينوميسيتات قد لا تكون مهمة مثل البكتريا والفطريات فى تنفيذ العمليات البيوكيميائية، إلا أنه من المعروف أن للأكتينوميسينات دوراً فى تحلل بعض المكونات المقاومة للتحلل من الأنسجة النباتية والحيوانية (مثل: السليولوز، الكيتين، الفوسفوليبيدات)؛ وفى تخليق مواد شبيهة بالدبال من تحول البقايا النباتية ونفايات أوراق النباتات؛ وفى تكسير المخلفات العضوية (مثل: الأسمدة الخضراء، والسماد العضوى الصناعى، والأسمدة الحيوانية)، حتى عند درجات حرارة عالية؛ وكذلك فى

إصـابة النبـاتات، والحـيـوانات، والإنسـان؛ وفى إفراز المضـادات الحـيـوية أو إنتـاج الإنزيمات التى تؤثر فى تركيب مـجتمع التربة. وما رائحة أو عبير الأراضى إلاّ عبارة عن نواتج متطايرة لنشاط الأكتينوميسيتات.

الفطريات تحـصل على الطاقـة والكربون اللازمين لهـا من تحلل النبـاتات، والحيوانات، والمادة العضوية الموجودة فى التربة. وتوجد فى الأراضى مجموعتان من الفطريات وهى: فطريات وحيدة الخلية وتسمى الخميرة، فطريات خيطية عديدة الخلايا (مثل: عفن الخبز، العفن الفطرى، السنّاج، الأصداء)، وهى الأكثر شيوعا. وتوجد الفطريات الخيطية بوفرة فى الأراضى الخصبة جيدة التهوية، بينما توجد الخميرة فى البيئات اللاهوائية. أما الأجسام الخيطية، التى يسمى مفردها هيفا، وجمعها ميسيليا أو غزل فطرى، فتوجد فى شكل غزل داخلى بين حبيبات التربة، والمادة العضوية، وجذور النبات، ويمثل عيش الغراب التركيب التكاثرى الحقيقى لفطريات خيطية قد يكون لها هيفات ممتدة تحت الأرض.

وللفطريات وظائف عـديدة فى الأراضى، من بينهـا: تحلل المواد النبـاتيـة والحيوانية والعضوية، وربط أو تجميع حبيبات التربة وتكوين حبيبات أرضية مجمعة، وتكوين تجمعات تكافلية (ميكوريزا) مع النباتات، والعمل ككائنات مفترسة فى مقاومة بعض الكائنات الدقيقة وحيوانات التربة. وفى الطبقات السطحية الحامضية وفى أراضى الغابات، وتُكوِّن الفطريات معظم أو غالبية الكتلة الحيوية للتربة، وتكُون الأكثر نشاطا فى عملية التحلل.

الطحالب تشبه النباتات الوعائية وبعض البكتريا، وهى قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئى بسـبب احتـوائها على الكلوروفيل. وفى الأراضى الرطبة الخصبة، فإن الطحالب قـادرة على إنتاج بضع مئات كيلوجرامات من المواد العضوية لكل هكتار سنويا. والطحالب **الخضراء المزرقة** يمكنها أن تثبت النتروجين الجوى فى مركبات نتروجين عضوية. والأُشْنَة lichens، عبارة عن تجمعات تكافلية من طحلب

وفطر، وتعتبر أول مستعمرات للصخر **الأملس** ومادة أصل التربة. ومعروف عن الأحماض العضوية التى يتم تخليقها وانطلاقها بواسطة الأُشْنَة أنها تقوم بتجوية سطوح الصخور. كما تلعب دوراً مُهمًا فى المراحل المبكرة فى تطور الأراضى فى بعض المناطق.

البرتوزوا هى حيوانات وحيدة الخلية، وهى ميكروسكوبية فى الحجم. وبعض البروتوزوا معروف عنها أنها تصل إلى أبعاد ماكروسكوبية، وهى تتغذى على المادة العضوية المتحللة والكائنات الدقيقة مثل البكتريا وأحيانا بروتوزوا أخرى، وترتبط أعداد البروتوزوا بأعداد البكتريا، فحينما تزداد البكتريا نتيجة إضافة البقايا العضوية للأراضى، فإن البروتوزوا تزداد أيضا.

٢ – ٤ – ٤ تطور الأراضي :

الأرض جسم طبيعى، ثلاثى الأبعاد مرتبة بنظام رأسى مميز عند سطح القشرة الأرضية. ويعتبر تنوع الأراضى فى العالم دالة للعوامل الخمسة الخاصة بتكوين الأراضى (Jenny, 1941)، والتى يمكن التعبير عنها كمايلى:

Soil = F (pm , r , cl, o, t) .... (٢ – ٥)

حيث pm = مادة الأصل.

r = المنسوب أو الطبوغرافيا.

cl = المناخ.

o = الكائنات أو الكساء الخضرى.

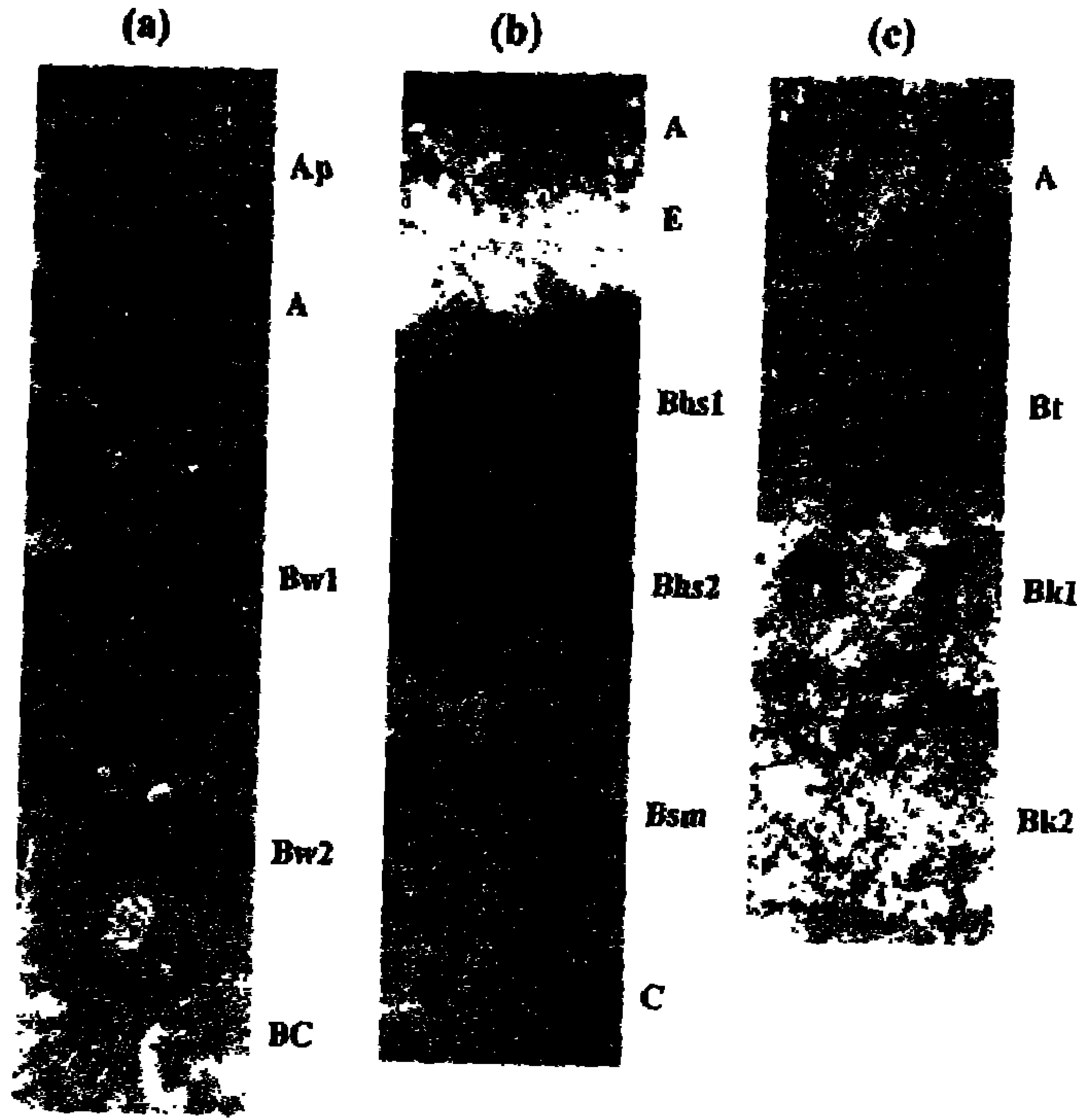
t = الزمن.

وتوضح المعادلة (٢ – ٥) أن تكوين تربة معينة يتم تقديره بمقدار زمن تأثير المناخ والكائنات على مادة أصل موجودة فى موضع معين.

نشأة وتكوين الأراضي: هي العملية التي تتكون فيها التربة من مادة الأصل، وتشمل التجوية الفيزيائية والتجوية الكيميائية لحبيبات مادة الأصل، والحركة الفيزيائية للحبيبات، والتغيرات والتحولات المعدنية، وإضافة المادة العضوية، وتكوين الآفاق. وتختلف الأراضي في نوع الآفاق وسمكها، والقوام، والتركيب البنائي، واللون، والخواص الأخرى الموضحة في شكل ٢-١٥.

مادة الأصل هي مواد معدنية وعضوية حدثت لها تجوية فيزيائية وكيميائية وبيولوجية لغرض تكوين الأراضي. وتقسم إلى مواد متبقية أو مواد منقولة. وتتكون مواد الأصل المتبقية من تجوية صخور محدودة تشمل صخوراً نارية، ورسوبية، ومتحولة تختلف في الصلابة، واللون، والتركيب المعدني، وحجم الحبيبات، والتبلور. ومواد الأصل المنقولة يتم حملها بواسطة الرياح أو المياه مثل: رواسب الرمل، الطين، السلت المنقولة بواسطة الرياح، كما أن حركة الماء السريعة أو الحركة البطيئة للثلاجات قادرة على نقل كميات كبيرة من المواد، وبصفة عامة، فإن المواد المنقولة بواسطة الماء تكون مميزة بحجم واحد من الحبيبات، بينما الرواسب المنقولة بالثلاجات، والمعروفة بـ till، تكون غالبا خليطًا من حبيبات ذات أحجام مختلفة.

المنسوب : ويسمى أيضا **الطبوغرافيا** وهو يشير إلى زاوية وطول الميل، وقرب السطح من مستوى الماء الأرضي. تتأثر كمية المياه التي ترشح أو تجرى على سطح التربة في الغالب بموقع الأرض. كلما زادت زاوية الميل وكلما ازداد طول مسافة الميل، يزداد احتمال حدوث انجراف. وبالإضافة إلى ذلك، فإن اتجاه الميل يؤثر في كمية أشعة الشمس الواصلة، وهذه تؤثر على درجة حرارة التربة والهواء. وعند منتصف خطوط العرض ؛ حيث يكون تأثير اتجاه الميل أكبر مايمكن، فإن اتجاه الميل غالبا مايؤثر في نوع الكساء الخضري النامي على جوانب الجبال المواجهة للشمال والجنوب. وفي الجبال الصخرية، غالبا مانشاهد غابات على ميول الجبال المواجهة للشمال، وذلك بسبب درجة الحرارة الأقل ونسبة الرطوبة الأعلى، بينما تسود المراعي التي بها شجيرات كثيفة ملتفة ميول الجبال المواجهة للجنوب.



شكل ٢ – ١٥ أمثلة للقطاع الأرضى لرتب أراضى مختلفة: (a) قطاع إنسيبتيسول (زيروشبت، طمى، مختلطة، دافئة) من كاليفورنيا؛(b) قطاع سبودوسول (هابلورثود، رملية، مختلطة، باردة) من ميتشجان؛ (c) قطاع موليسول (أرجيوستول، دقيقة، مونتمو ريللونيت، حرارة متوسطة) من يومنج.

وفى مناقشة دور المناخ فى تكوين الأراضى، نهتم مبدئيا بشرح كيفية تأثير الأمطار والحرارة فى معدلات التجوية والتحلل، وعمليات الانتقال. إن هيئة الترسيب (مطر، جليد) وكميته تُحَدِّدُ كمية الماء التى تدخل الأرض. وبالرغم من ذلك، فطبوغرافية المنطقة يمكن أن تتسبّب فى تركيز المياه على أجزاء معينة من الأرض. أيضا، فإن الماء قد يجرف سطح التربة، وفى هذه الحالة يحدث تدهور للتربة. وتكون معدلات التجوية ومعدلات التحلل أسرع عند درجات حرارة أعلى؛ وعلى ذلك فإن ارتباط زيادة الأمطار

مع الحرارة الأعلى سوف يشجع تكوين الأراضى ويشجع أيضا تحلل المادة العضوية. كما أن ذوبان الجليد يزيد من غسيل الكيماويات الذائبة غير العضوية والعضوية التى تكونت خلال فترة الشتاء.

تعتبر النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة جزءًا من **الكائنات** التى هى أحد عوامل تكوين الأراضى. وتقوم النباتات بتدوير العناصر الغذائية التى تأخذها من الجو والتربة وتحولها إلى أنسجة نباتية، وهذه بعد موتها تتحلل بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة، ويتم تدويرها أو إرجاعها ثانية إلى التربة. وتتكون المادة العضوية من كل من تحلل النباتات وتفاعلات التخليق بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة؛ وتلعب المادة العضوية دورًا مُهمًا فى عمليات التجوية، والتحلل، والانتقال. وتؤثر بعض المركبات العضوية فى التربة على رقم الحموضة pH وحركة الأيونات الذائبة وذلك حتى أعماق بعيدة. كما أن تنفس ثانى أكسيد الكربون بواسطة جذور النبات والكائنات الدقيقة له أيضا تأثير كبير على رقم حموضة التربة، خاصة فى المناطق التى يحدث فيها تنفس كثيف. ويمكن للخلط الفيزيائى لحبيبات التربة والمادة العضوية بواسطة حيوانات التربة إما أن يشجع تكوين الأراضى أو يعطلها. فالنمل قادر على جلب مادة التربة الخشنة القوام من أسفل سطح التربة إلى أعلى السطح وذلك لبناء مساكنه. والديدان حيوانات معروف أنها ممتازة فى تكوين الأراضى وذلك لقدرتها على تحسين خصوبة التربة وخواصها الفيزيائية.

ويتم وصف الأراضى، فى الغالب ، بناءً على خواصها المورفولوچية. وتحتوى الأراضى على طبقات موازية تقريبا لسطح الأرض ، وتسمى هذه الطبقات بالآفاق، ويمكن تمييزها من واحد لآخر بسبب الفروق أو الاختلاف فى القوام واللون والبناء والخواص الأخرى الكيميائية أو الفيزيائية التى يمكن تمييزها بين الآفاق المختلفة (شكل ٢ – ١٥). وتتكون الآفاق من فقد بعض المواد مثل: المادة العضوية، الطين، الحديد والألومنيوم، أو من تراكم هذه المكونات. وتوصف الآفاق أولا: بواسطة دلالات مميزة **للآفاق الرئيسية** باستخدام حروف كبير C, B, E, A, O أو R ؛ وثانيا: بالاعتماد على خواص آفاق التربة، بواسطة **دلالات ثانوية**، باستخدام حروف صغيرة

(جدول ٢ – ١١). وتُصنف الآفاق السطحية إلى آفاقO أو A استناداً إلى محتواها من المادة العضوية. وفى المناطق التى تعرضت لانجراف شديد حيث يحدث فيها إزالة لمواد سطح التربة – قد تظهر آفاق C, B, E وأو R؛. كما تشيع الأراضى التى فيها آفاق E فى أراضى الغابات. وعادة يقع أفق E تحت أفق Oأو أفق A، ويتكون كنتيجة لفقد كميات كبيرة من المادة العضوية والطين ومركبات الحديد والألومنيوم (**الأكاسيد السداسية**). وعادة يكون لون أفق E أخف (فاتح) عن الآفاق التى فوقه أو التى تحته. وتسمى الآفاق التى تتراكم وتتجمع فيها المكونات المنقولة من الآفاق العلوية – آفاق B. ومادة الأصل، وهى المادة الجيولوجية التى تكونت منها التربة، يشار إليها أفق C. أما الصخر المدمج (الصلد) الذى لم يحدث له تغيير، يصنف بأفق R. بالإضافة إلى الآفاق الخمسة الرئيسية التى سبق وصفها، فإن فحص بعض الأراضى يوضح وجود بعض الآفاق التى تُظهر خواصا مشابهة للآفاق التى فوقها أو التى تحتها، وتسمى **بالآفاق الانتقالية** ويشار إليها بحرفين كبيرين مثل (AB)أو، (E/B).

وبعد ذلك يتم تقسيم الآفاق مرة ثانية إلى أجزاء أصغر، لتمييز الخواص الكبيرة أو الصفات التى تفصلها وتميزها عن الآفاق الأخرى ؛ فتستخدم الدلالات الثانوية لتسمح لنا أن نميز – على سبيل المثال – أفق B الذى تراكم فيه الطين (Bt) عن أفقB الضعيف التكوين (Bw). ولا تستخدم جميع الدلالات الثانوية مع كل أفق رئيسى، فعند وصف أفق O، يجب على المرء أن يضع فى اعتباره حالة تحلل المادة العضوية حتى يتمكن من تقسيم الأفق جيدا فى شكل Oa و Oe أو Oi، وقد وضعت هذه الدلالات الثلاث الثانوية للآفاق العضوية فقط. أما الحرف الثانوى p فيستخدم فقط مع حرف الأفق الرئيسى A. وتُستخدم معظم الدلالات الثانوية لعمل تقسيم تالٍ (ثانوى) لآفاق B. ومن السهل نسبيا أن نُحدِّد أى الحروف الصغيرة تستخدم لآفاق B وأحيانا لآفاق C حيث تمثل تلك الآفاق فى التربة عمليات التراكم أو التغيرات عن مادة الأصل الجيولوجية للتربة.

جدول ٢- ١١ آفاق الأراضى الرئيسية ودلالاتها الثانوية.

	الخواص أو الصفات
الآفاق الرئيسية:	
O	سطحى تسود فيه المادة العضوية.
A	معدنى مع تراكم مادة عضوية عند السطح أو تحت O مباشرة.
E	مغسول من المادة العضوية والطين والأكاسيد السداسية.
B	به تراكم للمادة العضوية والطين والأكاسيد السداسية.
C	طبقة مفككة تقع تحت أفق A أو B ولم تتأثر بعوامل تكوين الأراضى.
R	صخر صلد تأثر بسيطا بعوامل التجوية أو لم يتأثر بالمرة.
الدلالات الثانوية:	
a	مادة عضوية متحللة بدرجة عالية.
b	أفق أرضى مدفون.
c	حصى متحجر.
d	مادة مفككة كثافتها عالية.
e	مادة عضوية متحللة جزئيا.
f	أرض مجمدة.
g	مستوى الماء الأرضى مرتفع.
h	تراكم للمادة العضوية.
i	مادة عضوية غير متحللة نسبيا.
k	تراكم للكربونات.
m	مواد لاحمة أو تقسية.
n	تراكم الصوديوم.
o	تراكم أكاسيد الحديد والألومنيوم.
p	محروثة أو مفككة.
q	تراكم السليكا.
r	حدثت له تجوية.
s	تراكم الأكاسيد السداسية.
t	تراكم الطين السليكاتى.
v	مادة حديد حمراء اللون.
w	متطور بدرجة ضعيفة.
x	كثافة عالية.
y	تراكم الجبس.
z	تراكم الأملاح.

٢ – ٤ – ٤ – ١ تصنيف الأراضى واستخدامها :

توجد نظم عديدة لتصنيف الأراضى، تستخدم على مستوى العالم. والتصنيف المستخدم فى الولايات المتحدة الأمريكية وفى بلدان عديدة هو Soil Taxonomy، وقد تم إعداده بواسطة إدارة الزراعة الأمريكية (مجموعة حصر الأراضى، ١٩٧٥). وقد صُمِّم هذا التصنيف ليُقسِّم الأراضى إلى مجاميع اعتماداً على الخواص المورفولوچية والخواص البيئية مثل: الآفاق التشخيصية، قوام التربة، بناء التربة، لون التربة، التركيب المنرالوچى للتربة، رطوبة التربة، درجة حرارة التربة. إنه نظام نسق هرمى يحتوى على (٦) ستة أقسام من التصنيف، ويتدرج من التصنيف العام لجميع الأراضى إلى تصنيف أكثر تفصيلاً، وأكثر تمييزا. وفيما يلى الأقسام الستة مرتبة حسب الزيادة فى التفاصيل:

الرتبة، تحت الرتبة، مجموعة كبيرة، تحت مجموعة، عائلة، سلسلة.

والخطوة الأولى فى تصنيف الأراضى هى تحديد الآفاق التشخيصية، وتتكون هذه الآفاق من مجموعتين:

آفاق سطحية (إبيبدون) وهى التى تتكون عند سطح التربة، **آفاق تشخيصية تحت سطحية**، وهى التى تتكون تحت سطح التربة (انظر جدول ٢ – ١٢ الخاص بتقسيمات الآفاق وخواصها).

– من بين الآفاق السطحية الستة المدرجة فى جدول ٢ – ١٢، هناك أفق واحد فقط، سطحى هيستيك أى نسيجى – يرمز له أفق O – ويتركب أساسا من المادة العضوية.

– ومن بين الـ ١٧ آفاق التشخيصية تحت السطحية تشيع آفاق: سبوديك، أرجيلليك، ألبيك، كامبيك فى أراضى المناطق الرطبة فى الولايات المتحدة وكندا، بينما أراضى المناطق الجافة فى الولايات المتحدة غالباً لها أفق واحد من الآفاق التشخيصية تحت السطحية التالية: كالسيك، جيبسك، ناتريك، بتروكالسيك. وإن معرفة الآفاق التشخيصية أمر ضرورى فى تقسيم الأراضى.

وتنحصر الأراضى التى لها أنواع متشابهة من الآفاق التشخيصية فى واحدة من (١١) إحدى عشرة رتبة للأراضى (جدول ٢ – ١٣). وتعطى معرفة رتبة التربة صورة عامة عن الصفات المورفولوجية والخواص الكيميائية والفيزيائية المتوقعة للتربة. أما الأقسام الأكثر تفصيلا فى تصنيف الأراضى فتعطى معلومات أكثر تحديداً عن التربة. ويعتبر اسم عائلة التربة هو الأكثر إفادة فى الترجمة المباشرة لخواص التربة والبيئة. أما سلسلة التربة فهى تقع تحت أقسام للعائلة، ويتم تمييزها بناءً على خواص معينة للقطاع.

حصر الأراضى: تعتبر تقارير حصر الأراضى (شكل ٢ – ١٦) مصدراً ثميناً للمعلومات لغرض تخطيط استخدام الأراضى. وتحتوى هذه التقارير على معلومات تساعد على اتخاذ القرار الخاص باستخدام الأراضى لأغراض زراعية أو غير زراعية. وبالإضافة إلى تصوير الأراضى وتوضيحها بوحدات خرائط، فإن حصر الأراضى يحتوى على معلومات تفصيلية تفيد فى اتخاذ القرار لاستخدام الأرض فيما يخص: إدارة الأراضى، وأراضى المحاصيل، وأراضى الأشجار الخشبية، ومناطق المتنزهات، ومناطق الأراضى الرطبة، كما يعتبر حصر الأراضى مفيداً أيضا فى تقويم الأراضى من ناحية صلاحيتها للرى والصرف. وتوجد قيود للاستخدامات العديدة للأراضى وهى مدونة فى جداول توضيحية، وهذه الجداول جنبا إلى جنب مع وصف الأراضى ضرورية للتخطيط الأولى الذى يسبق تحديد مواقع التخلص من المخلفات مثل خزانات المخلفات الآدمية، وبرك الصرف الصحى، ومدافن النفايات الصحية.

جدول ٢- ١٢ خواص الآفاق التشخيصية والدلالات.

الآفاق التشخيصية	الدلالات	الخواص أو الصفات
الآفاق السطحية		
موليك	A	سميك، أسود، بناء جيد، سعة التشبع بالقواعد أكثر من ٥٠٪.
أومبريك	A	يشبه موليك ولكن سعة التشبع بالقواعد أقل من ٥٠٪.
أوكريك	A	فاتح اللون، نسبة المادة العضوية به منخفضة.
أنثروبيك	A	من صنع الإنسان، يشبه موليك، نسبة الفوسفور به عالية.
بلاجّن	A	من صنع الإنسان، سميك (أكثر من ٥٠ سم) ينشأ من التسميد العضوى على مدى طويل.
هيستيك	O	نسبة عالية من المادة العضوية فى مناطق رديئة الصرف.
الآفاق تحت السطحية		
أرجيلليك	Bt	تراكم طين سليكانى كما يتضح من أغشية الطين الرقيقة.
أجريك	A أو B	تراكم مادة عضوية أو الطين أو السلت تحت طبقة الحرث.
ألبيك	E	أفق غسيل، فاتح اللون، فقد طين ومادة عضوية.
كالسيك	Bk	تراكم الكالسيت أو الدولوميت.
كامبيك	Bw	متطور بدرجة ضعيفة.
دوريبان	Bm	طبقة صماء بسبب التقسية بالسليكا.
فراجيبان	Bx	ضعيفة التقسية، طبقة هشة.
جبسيك	By	تراكم الجبس.
ناتريك	Btn	أفق أرجيلليك، به نسبة صوديوم عالية، البناء عمودى أو منشورى.
أوكسيك	Bo	حدثت له تجوية بدرجة عالية مع تراكم أكاسيد الحديد والألومنيوم ومعادن الطين غير المتمددة.
بتروكالسيك	By	أفق من الجبس القاسى.
بلاسيك	B	أفق أسمنتى رقيق، لونه أسود إلى أحمر، المادة اللاحمة تشمل الحديد، والمنجنيز، و/أو المادة العضوية.
ساليك	Bz	تراكم الأملاح.
سومبيك	B	تراكم المادة العضوية مع انخفاض التشبع بالقواعد.
سبوديك	Bh, Bhs, Bs	تراكم المادة العضوية والأكاسيد السداسية.
سلفوريك	B	التربة عالية الحموضة مع وجود بقع من الكبريت.

المصدر: Soil Survey Staff, 1975.

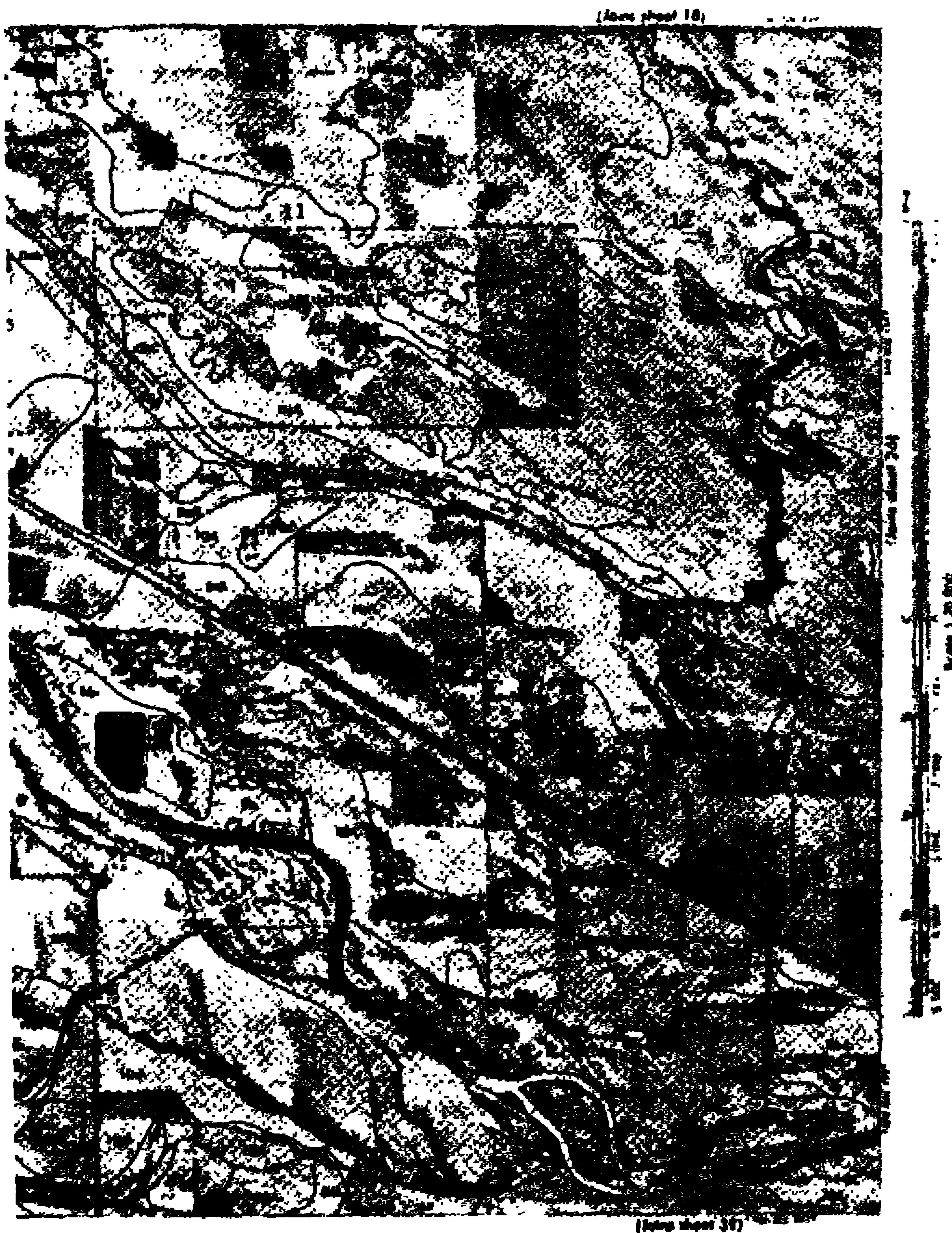
ملاحظة: تستخدم الآفاق التشخيصية لتصنيف الأراضى عند المستويات (الأنساق) العالية فى التصنيف العلمى للأراضى.

جدول ٢- ١٣ رتب الأراضي وأوصافها التشخيصية طبقا للتصنيف العلمي للأراضي.

رتبة الأرض	الأفق التشخيصي الشائع	الأوصاف التشخيصية
ألفيسول	أرجيلليك / ناتريك	التشبع بالقواعد أكبر من ٥٠٪، ليست موالليك أو أوكسيك أو سبوديك.
أنديسول	غير مطلوب	أرض مشتقة من رماد بركاني، المعادن غير متبلورة أو ضعيفة التبلور.
أريديسول	أوكريك	أرض جافة؛ الشائع: أرجيلليك، أو ناتريك، أو كامبيك.
إنتيسول	أوكريك	تطور القطاع ضئيل جدا «إسمى».
هستوسول	هيستيك	أرض عضوية؛ بيت أو مستنقع.
إسيبتيسول	كامبريك	الأوصاف التشخيصية قليلة؛ الآفاق الشائعة أو كريك أو أومبريك.
موالليسول	موالليك	أرض سوداء عالية التشبع بالقواعد؛ ليست أوكسيك أو سبوديك.
أوكسيسول	أوكسيك	حدثت لها تجوية بدرجة عالية؛ ليست أرجيلليك أو سبوديك.
سبودوسول	سبوديك	تراكم مادة عضوية والأكاسيد السداسية؛ الشائع أفق ألبيك.
أولتيسول	أرجيلليك	التشبع بالقواعد أقل من ٥٠٪؛ ليست أوكسيك أو سبوديك.
ڤيرتيسول	غير مطلوب	تحتوى كميات كبيرة من الطين المنتفخ مما يسبب حدوث شقوق عميقة عند الجفاف.



شكل ٢ – ١٦ مثال لخريطة مأخوذة من حصر الأراضي لإقليم جوشن Goshen، ولاية يومنج Wyoming. وهى تمثل منطقة لها أراضى مميزة ودرجة انحدار خاصة. على سبيل المثال، تقع مدينة تورينجتون على وحدة الخريطة HnA وهى تمثل أراضى طميية (هاڤرسون، ماك كوك)، ودرجة الانحدار لها صفر – ٣٪. (U . S . Dept. of Agriculture , 1971.)



تابع شكل ٢ – ١٦

المراجع :

Brady, N. C., The Nature and Properties of Soils. 10th ed., Macmillan, New York, 1990.

Goldman, C. R. and Horne, A. J., Limnology, McGraw - Hill, New York, 1983.

Gilluly, J., Waters, A. C., and Woodford, A. O., Principles of Geology, 4th ed., W. H. Freeman, San Francisco, CA, 1975.

Jenny, H., Factors of Soil Formation, McGraw - Hill, New York, 1941.

Manahan, S. E., Environmental Chemistry, 5th ed., Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991.

Paul, E. A. and Clark, F. E., Soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press, San Diego, CA, 1989.

Schlesinger, W. H., Biogeochemistry: An Analysis of Global Change, Academic Press, San Diego, CA, 1991.

Schulze, D. G., 1989. An introduction to soil mineralogy, in Minerals in the Soil Environment, 2nd ed., Dixon J. B. and Weed, S. B. Eds., Soil Science of America, Madison, WI, 1989, 1.

Soil Survey Staff, Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, Agricultural Handbook No. 436, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1975.

Soil Survey Staff, Keys to Soil Taxonomy, 5th ed., Technical Monograph No, 19, Soil Management Support Services, Pocahontas Press, Blacksburg, VA, 1992.

Spiedel, D. H. and Agnew, A. F., The Natural Geochemistry of Our Environment, Westview Press, Boulder, CO, 1982.

Stevenson, F. J., Humus Chemistry: Genesis, Composition, John Wiley & Sons, New York, 1982.

U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (in cooperation with the Wyoming Agricultural Experiment Station), Soil Survey of Goshen County, Wyoming: Southern part, by Stephens, F., Brunkow, E. F., Fox, C. J., and Ravenholt, H. B., 1971.

Walker, J. C. G., Evolution of the Atmosphere, Macmillian, New York, 1977.

مراجع مساعدة:

الغلاف الجوى

Bach, W., Pankrath, J., and Kellogg, W., Eds., Man's Impact on Climate, Elsevier, New York, 1979.

Benarie, M. M., Ed., Atmospheric Pollution, Elsevier Publishing, New York, 1982.

Sloane, C. S. and Tesche, T. W., Eds., Atmospheric Chemistry: Models and Predictions for Climate and Air Quality, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991.

Tegart, W. J. G., Sheldon, G. W., and Griffiths, D. C., Climate Change: The IPCC Impacts Assessment, Australian Goverment Publishing Service, Canberra, Australia, 1990.

الغلاف المائى

Berner, E. K. and Berner, R.A., The Global Water Cycle, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987.

Hites, R. A. and Eisenreich, S. J., Sources and Fates of Aquatic Pollutants, American Chemical Society, Washington, D.C., 1987.

Mance, G., Pollution Threat of Heavy Metals in Aquatic Environments, Elsevier Applied Science, Essex, England, 1987.

Van der Leeden, F., Troise, F. L., and Todd, D. K., The Water Encyclopedia, 2nd ed., Lewis Publishers, Chelsea, MI,1990.

بيئة التربة

Dixon, J. B. and Weed, S. B., Eds., Minerals in the Soil Environment, 2nd ed., Society of America, Madison, WI, 1989.

Keller, E. A., Environmental Geology, Merrill Publishing. Columbus, OH, 1988.

Page, A. L., Logan, T. J., and Ryan, J. A., Eds., Land Application of Sludge: Food Chain Implications, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1987.

Singer, M. J. and Munns, D. N., Soils: An Introduction, 2nd ed., Macmillian, New York, 1991.

Smith, M. A., Ed., Contaminated Land: Reclamation and Treatment, Plenum Press, New York, 1985.

الفصل الثالث

تصنيف الملوثات

٣ – ١ تعريف مصطلح التلوث : Pollution / Contamination .

قبل مناقشة المسائل البيئية الرئيسية فى علم الأراضى ينبغى تعريف مصطلحى «التلوث» "Pollution" أو «الملوِّث» "Pollutant"؛ نظرا لاختلاف تعريف هذين المصطلحين من شخص إلى آخر. ويعطى القاموس لهذين المصطلحين مرادفات مثل: غير نقى Impure، غير نظيف Unclean، قذر Dirty، ضار Harmful، ملوَّث Contami-nated. وبالرغم من أن هذه الكلمات تعتبر مناسبة فإنها لا تقدم تعريفًا فعالاً مفيدًا لدراسة البيئة.

والجزء الأول من المشكلة فى تعريف «الملوّث» "Pollutant" أو «التلوث» "Pollution" هو أنه ينبغى التوصل إلى اتفاق حول الاستخدام المقبول للمواد التى تسبب التلوث. على سبيل المثال، قد يعتبر البعض أن استخدام المبيدات يعتبر مقبولاً إذا كانوا واثقين بدرجة معقولة من أن تأثير المبيد سوف يكون قاصراً فقط على الغرض المقصود من استخدامه، بينما يرى الآخرون أن أى استخدام للمبيدات غير مقبول. فى الحالة الأولى، يصبح المبيد ملوِّثا فقط فى حالة حدوث تأثيرات جانبية غير مرغوبة ؛ بينما فى الحالة الثانية يعتبر المبيد بصفة دائمة مادة ملوِّثة، كما أن تحديد المستوى المقبول من التلوث يمثل طريقة أخرى للنظر فى هذه المشكلة. وستتراوح المواقف (سلوك الأفراد) من: «أى مستوى من الملوث سوف يسبب ضرراً لى» (فئة الفرد المهتم بالبيئة) إلى «لا شىء يؤذينى» (فئة الفرد الأنَوِى).

والجزء الثانى من المشكلة (فى تعريف الملوِّث أو التلوث) هو التمييز بين **المصادر البشرية والمصادر الطبيعية**. فقد يُطلق البركان فى الجو كمية من الغازات الضارة والمواد العالقة أكبر من المواد الخارجة من عدد كبير من محطات إنتاج الطاقة الكهربية، ولكن البعض قد لا يهتم بالمواد المنطلقة من البركان بسبب أصلها الطبيعى. والشىء نفسه يمكن قوله عن أنشطة تعدين المعادن الثقيلة التى قد تلوث الأراضى بالمعادن الثقيلة، ومع ذلك فإن الأراضى المحتوية على تركيزات عالية من المعادن الثقيلة يمكن أن تتكون طبيعيا، بسبب قربها من رواسب خامات هذه المعادن.

ويجب أن يكون واضحًا أن هناك اجتهاداتٍ مفيدة مرتبطة بتعريف الملوث أو التلوث، ومن المستحيل تغييرها. والتعريف العملى المعقول **للملوِّث**، والذى يأخذ فى اعتباره المشاكل السابقة، هو أنه: «**مادة كيميائية من خارج المكان (الموقع)، أو موجودة بمستويات أعلى من التركيزات العادية، ويكون لها تأثيرات عكسية على أى كائن**». ويفهم من هذا التعريف أن المبيدات المضافة للأراضى الزراعية لا تعتبر ملوثات فى حالة عدم حركتها تحت منطقة جذور المحاصيل أو سريانها مع مياه الأمطار على السطح. ويمكن اعتبارها ملوثات إذا أضيفت من خارج المكان وبتركيزات عالية تحدث ضررًا لأى كائن. أما المواد المنطلقة من البراكين والأراضى الملوثة بالمعادن والمتكونة طبيعيًا، تعتبر ملوثات بسبب وجود مادة كيميائية بمستويات أعلى من التركيزات العادية، ويمكن أن يكون لها تأثيرات عكسية على الكائنات. يقول ميللر Miller ١٩٩١: «إن أى تغير غير مرغوب فى خواص الهواء، والماء، والتربة، والغذاء، ويمكن أن يؤثر عكسيا على صحة، أو بقاء، أو نشاط الإنسان أو أى كائنات أخرى حية – يسمى تلوثًا "Pollution" ؛ وهو يأخذ فى الحسبان أيضا التلوث الضوضائى، والتلوث الحرارى، بالإضافة إلى التلوث الحادث بواسطة المواد أو الكيماويات. ويعطى كل من التعريفين السابقين اجتهادات ذات قيمة باستخدام عبارة : «من خارج المكان (الموقع)» أو «تغير غير مرغوب».

إن مـصطلح «مُلوَّث contaminated» يسـتـخـدم غـالبـا مـرادفًـا لمصطلح "polluted"، بالرغم من أن الفروق الدقيقة فى تعريفهما يمكن أن توضح أن هذه الممارسة غير صحيحة. ويشير مصطلح contaminated إلى أن تركيز المادة يكون أعلى مما هو موجود طبيعيًا، ولكنه لا يعنى بالضرورة أن المادة تسبب ضررًا من أى نوع. بالإضافة إلى ذلك، يشير مصطلح polluted إلى الحالة التى يكون فيها تركيز المادة أعلى مماهو موجود طبيعيا، وتسبب فيها المادة أيضا ضررًا من أى نوع لأى كائن (كما لوحظ من التعريفين سابقا). وبناءً على هذا الفهم، فإن التربة يمكن أن تكون contaminated ولكنها ليست polluted ؛ أى أنها ملوَّثة، ولكن ليست بالدرجة التى تسبب ضررًا من أى نوع لأى كائن.

نسمع كثيراً مصطلحات: مخلفات سامة Toxic wastes، ومخلفات ضارة Haz-ardous wastes، ومواد ضارة؛ وبكل وضوح فإن مثل هذه المواد تعتبر ملوِّثات pollu-tants. وتستخدم الصفات المميزة: «سامة» أو «ضارة» للمواد التى يمكن أن تكون باستمرار سامة بشدة للإنسان، وعلى عكس ذلك فبعض الملوثات مثل الرواسب والفوسفور ليست كذلك. ولا يوجد تصنيف نظامى للمخلف السام من وجهة النظر القانونية فى معظم الولايات المتحدة الأمريكية.

المخلف الضار: تم تعريفه بواسطة هيئة اكتشاف وصيانة الموارد (RCRA) بأنه: «مخلف صلب يسبب ضرراً بسبب كميته، أو تركيزه، أو خواصه الفيزيائية، أو الكيميائية، أو المرضية». ويتم تعريف **الضرر** بأنه «المساهمة القوية فى زيادة حالات الوفاة، أو الأمراض الخطيرة أو التسبب فى أضرار شديدة للإنسان أو البيئة فى حالة إساءة المعالجة، أو التخزين، أو النقل، أو التخلص منه». ولقد رُسم المخلف الضار على غلاف المجلة الجغرافية الوطنية (الأمريكية)، عدد مارس، عام ١٩٨٥؛ فى هيئة مادة عجينية سوداء يتم تداولها بواسطة شخص مرتدياً ملابس واقية تماماً. وقد لخَّص هذا الرسم بذكاء الصورة التى لدى معظم الناس عن المخلف الضار. وبالرغم من ذلك،

فعند معظمنا مواد ضارة مُخزَّنة تحت أحواض المطبخ فى هيئة منظفات مواسير الصرف، ومساحيق التنظيف، ومنظفات الزجاج، ومواد التبييض، .... إلخ.

ويتم تقسيم التلوث pollution بناءً على مصدره إلى:

(١) تلوث معروف مصدره.

(٢) تلوث غير معروف مصدره.

فالأول – كما يفهم من الاسم – عبارة عن تلوث يمكن بكل وضوح معرفة نقطة انطلاقه (مصدره) مثل تدفق السوائل من محطة معالجة مياه المجارى أو انطلاق الدخان والغازات من المدخنة.

والثانى: تلوث بدون تحديد ولو نقطة مصدر واحدة لانطلاقه مثل مياه الأمطار السارية على السطح، والمحتوية عادة على مبيدات عشبية. وتعتبر مقاومة التلوث لكل منهما مختلفة تماما عن الآخر ؛ فمقاومة التلوث غير المعروف مصدره يكون صعبا بسبب المساحة الكبيرة التى تشملها، ويتطلب التعامل مع أعداد مضاعفة من ملاك الأراضى والمصادر العديدة. ولعلَّ أحد التشريعات الناجحة المبكرة لهيئة المياه النظيفة تجلَّى فى نقص تدفق الفوسفور إلى المياه السطحية من مصادره العديدة المعروفة. ولقد كانت هذه المصادر، فى الأساس، محطات معالجة مياه الصرف الصحى. ولقد تمَّ استغلال الأموال الاتحادية التى توفَّرت، وقامت كثير من المجتمعات بتحسين وتطوير وحدات المعالجة فيها، من وحدات معالجة أولية إلى ثانوية أو مزودة بإمكانيات متقدمة. واستفادت كثيرا من هذا التطوير البيئات المائية الحساسة مثل بحيرة إرى، وبحيرة شيزابيك باى وتحسنت نوعية المياه فيهما، ومع ذلك يظل الفوسفور فى المياه السطحية مشكلة كبيرة فى الوقت الحالى؛ فهو بدايةً غير معروف مصدره فى الأصل، ويأتى من استعمال الأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية فى الزراعة. وهذه المساهمة فى مشكلة الفوسفور سيكون من الصعب جداً إيجاد حلول لها، وسوف يناقش هذا الموضوع بتفاصيل أكثر فى الفصل الخامس.

٣ - ٢ تصنيف الملوثات :

يعرض جدول ٣ - ١ تصنيف الملوثات بناءً على خواصها العامة أو استخداماتها. ويمكن أن يكون لكل قسم تأثير على أكثر من بيئة. كما يمثل كل قسم أيضا عمليات عديدة أو يشمل عدداً كبيراً من الأفراد؛ فتشمل العناصر النادرة على سبيل المثال أكثر من عشرين عنصراً مختلفًا. ويتكوّن التحميض من عدة تفاعلات ليس بينها ارتباط، وبعضها يحدث فى الجو، وبعضها يحدث فى الليثوسفير؛ وهى تنتج نواتج حامضية لها تأثير سلبى على مناطق استقبالها النهائية. وعلى العكس من ذلك تُكوِّن الرواسب قسما مستقلا وتشمل فرداً واحداً.

ويعكس قسم **العناصر الغذائية** التأثيرات السلبية للنتروجين والفوسفور عند وجودهما بتركيزات عالية نسبيا. ويُعتبر وجود الفوسفور فى المياه السطحية والنترات فى المياه السطحية والجوفية أهم مؤشرات المشاكل البيئية، كما تعتبر عمليات الإنتاج الزراعى مسؤولة عن النصيب الأكبر فى المشاكل الناتجة عن زيادة العناصر الغذائية. وتأتى أيضا مساهمات كبيرة من المنازل الخاصة ومن استخدام الأسمدة المعدنية فى الزراعة، والمصادر الموجودة طبيعيا، ومناطق معالجة مياه الصرف الصحى، وخزانات التعفين، ووحدات إنتاج الغذاء، والدواجن والمواشى والدواب.

المبيدات: يمثل قسم المبيدات نطاقًا واسعًا من كيماويات غالبا ماتكون عضوية، وتستخدم لمقاومة الأمراض والكائنات المؤذية مثل: الحشائش والأعشاب، والحشرات، والقوارض، وأمراض النبات (انظر الفصل الثامن). مرة أخرى، تعتبر ممارسات الإنتاج الزراعى هى المسؤولة عن معظم استخدامات المبيدات، جنبا إلى جنب مع الاستخدام فى المنازل الخاصة، وفى رش البساتين. وتنطلق المبيدات عادة فى البيئة بنيّة مقصودة بمستويات منخفضة، بالرغم من حدوث حوادث غير مقصودة، مثل الانسكاب أو التناثر، وهذه تشمل كميات كبيرة أو ينتج عنها تركيزات عالية.

جدول ٣- ١ تصنيف الملوثات والبيئات المتأثرة.

قسم الملوث	أمثلـــة	البيئة المتأثرة			
		التربـة	المـــاء		الهواء
			الجوفى	السطحى	
العناصر الغذائية	النتروجين والفوسفور فى الأسمدة المعدنية، والأسمدة الحيوانية، وحمأة المجارى، والمخلفات الصلبة.	×	×	×	
المبيدات	المبيدات الحشرية، المبيدات العشبية، المبيدات الفطرية.	×	×	×	
المواد الضارة	الوقود، المذيبات، المركبات العضوية المتطايرة.	×	×	×	×
التحميض	الترسيب الحامضى، صرف المناجم الحامضى.	×	×	×	×
الملوحة والقلوية	الأملاح من الطرق، مياه الرى المالحة.	×	×	×	
العناصر النادرة	الفلزات الكاتيـونيــة، الأنيـونات، الأكسيجينية، العناصر الموجودة عادة بتركيزات منخفضة فى الأراضى أو النباتات.	×	×	×	
الرواسب	التربة المفقـودة عن طريق التـجـوية بواسطة المياه.			×	
المواد العالقة	السناج، التـربة المفقـودة عن طريق التجوية بالرياح، الأتربة البركانية.				×
غازات الصوبة	ثانى أكسيد الكربون، الميثان، أكسيد النتروز، غازات الكلوروفلوروكربون.				×
المركبات المكونة للضبخن	الأوزون، النواتج الثـانوية لاحـتـراق الوقود				×

المواد الضارة: ربما تُكوِّن أكبر قسم بين جميع الأقسام. إنه مصطلح فضفاض يشمل جميع المواد السامة بصفة دائمة للإنسان أو الكائنات الأخرى عندما يتم إساءة إدارتها، واستخدامها، والتخلص منها؛ ولا تدخل فى باقى الأقسام. وكثير من المواد الضارة عبارة عن مركبات عضوية مشابهة للمبيدات. ومع ذلك، فإن المواد الضارة تنطلق بصفة عامة فى البيئة بدون قصد. كما تشمل مشاكل تلوث التربة عادة الاستخدام غير السليم للمادة الكيماوية محل السؤال، أو التخلص منها، أو الانسكاب والتناثر غير المقصود فى مساحات صغيرة بتركيزات عالية. ويحدث عكس ذلك بالنسبة للاستخدامات العامة للمبيدات؛ حيث تضاف عادة بتركيزات منخفضة إلى مساحات كبيرة؛ وتعتبر ممارسة مقبولة.

قسم التحميض: يشمل عمليات عديدة غير مرتبطة ببعضها البعض ؛. فالمطر الحامضى هو النتيجة النهائية لتحول أكاسيد النتروجين والكبريت إلى أحماضها المناظرة فى الجو. ومايهمنا هنا هو المطر الذى له رقم حموضة أقل من رقم الحموضة العادى، وكذلك تأثيره على البيئة، كما يمثل أيضا الصرف الحامضى للمناجم مصدراً آخر للتحميض؛ حيث تصبح المياه حامضية عن طريق التجوية وأكسدة معادن الكبرتيدات، وخاصة البيريت (Fe S2). ومثل هذا الماء يمكن أن يكون له رقم حموضة أقل من اثنين (٢) ويمكن أن يكون له تأثير شديد على نظم التربة والمياه السطحية. مثال آخر لذلك هو تلك الأراضى التى أصبحت حامضية بعد الاستخدام الكثيف لأسمدة النتروجين الأمونيومية بدون معادلة الحموضة (الناتجة من عملية النترتة) بإضافة الجير.

والمشاكل الأساسية المصاحبة **للملوحة والقلوية** هى نقص فى الإنتاج النباتى بسبب الجهد المائى الراجع إلى زيادة الجهد الإسموزى والتغيرات فى خواص التربة الفيزيائية (حبيبات متفرقة مع انخفاض فى النفاذية) وذلك عندما تصبح تركيزات الأملاح أو الصوديوم عالية جدا. ويعتبر الرى بمياه تحتوى على تركيزات أملاح عالية

أوبها مستوى عالٍ من الصوديوم بالنسبة للكالسيوم والمغنسيوم السبب الرئيسى لهذه المشاكل. كما يعتبر سريان مياه الأمطار من الطرق مُحمّلة بكلوريد الصوديوم على الأراضى التى تقع على جانبى الطرق مصدراً للملوحة والقلوية وإن كانت أقل درجة.

العناصر النادرة: هى تلك العناصر التى توجد عادة بتركيزات منخفضة فى الأراضى أو النباتات. وقد تكون ضرورية لنمو وتطور الإنسان أو الكائنات الأخرى، بالرغم أن كثيرا منها ليست ضرورية. والعناصر النادرة التى تهمنا كملوثات هى تلك التى تسبب مشاكل صحية بصفة مستديمة للإنسان، أو الحيوان، أو النبات، أو الكائنات المائية عندما توجد بتركيزات أعلى من الحدود الحرجة المسموح بها (انظر الفصل السابع).

الرواسب: تمثل حبيبات التربة التى حدث لها انجراف وحُملت إلى المياه السطحية. وتشمل المناطق الأكثر تعرضا للانجراف مواقع الإنشاءات، والمزارع المحروثة حديثا، والمراعى التى حدث لها رعى جائر. وتستطيع الرواسب، فيزيائيا، أن تمنع مرور الضوء خلال الماء، وهذا يمكن أن يُغيِّر من بيئة المياه، ويمكن أن تصبح المياه غنية بالفوسفور وبالتالى تستطيع أن تُعَجل من حدوث ظاهرة التشبع الغذائى؛ ويمكنها أن تعمل كمصادر أو بالوعات للعديد من ملوثات المياه. وأيضا قد تتجمع الرواسب فى المياه السطحية وتعوق نشاط الملاحة والتنزه وتقلل من عمر مبانى السدود.

المواد العالقة، وغازات الصوبة، والمركبات المكوِّنة للضبخن (مزيج من الضباب والدخان):

وهذه المواد جميعها تعد ملوثات للهواء ؛ فالمواد العالقة عبارة عن حبيبات غير نشطة نسبيا معلقة فى الهواء الجوى، وتتكون أساسا من الكربون، والتراب، ورماد البراكين ... إلخ. وغازات الصوبة هى الغازات المسئولة عن تأثير الصوبة، أو تأثير ظاهرة الاحتباس الحرارى. والأخير عبارة عن زيادة فى تركيز الغازات المختلفة فى

الهواء الجوى - بصفة أساسية غاز ثانى أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النتروز، وغازات الكلوروفلوروكربون - التى تجعل الأمر صعباً جدا للحرارة المشعة أن تهرب إلى الجو، وينتج عن ذلك زيادة فى متوسط درجة الحرارة على مستوى العالم عن الدرجة الموجودة حاليا بدون تأثير الانسان. على أن بعض غازات الصوبة من صنع الإنسان، والبعض الآخر يتكون طبيعيا، بالرغم من أن تركيزاتها تتزايد فى الغلاف الجوى بسبب النشاط البشرى. أيضا فإن بعض عمليات إنتاج الغذاء تزيد من تركيز بعض غازات الصوبة. أما المركبات المكونة للضبخن ماهى إلا عناصر العملية المعقدة لإنتاج الضبخن.

وسوف نناقش العناصر الغذائية، والمبيدات، والمواد الضارة، والعناصر النادرة، والتحميض، وغازات الصوبة، بتفصيل أكثر فى الفصول التالية. أما موضوعات الرواسب، والمواد العالقة، والملوحة، والمركبات المكونة للضبخن فهى لا تدخل فى نطاق هذا الكتاب.

٣ - ٣ جودة التربة :

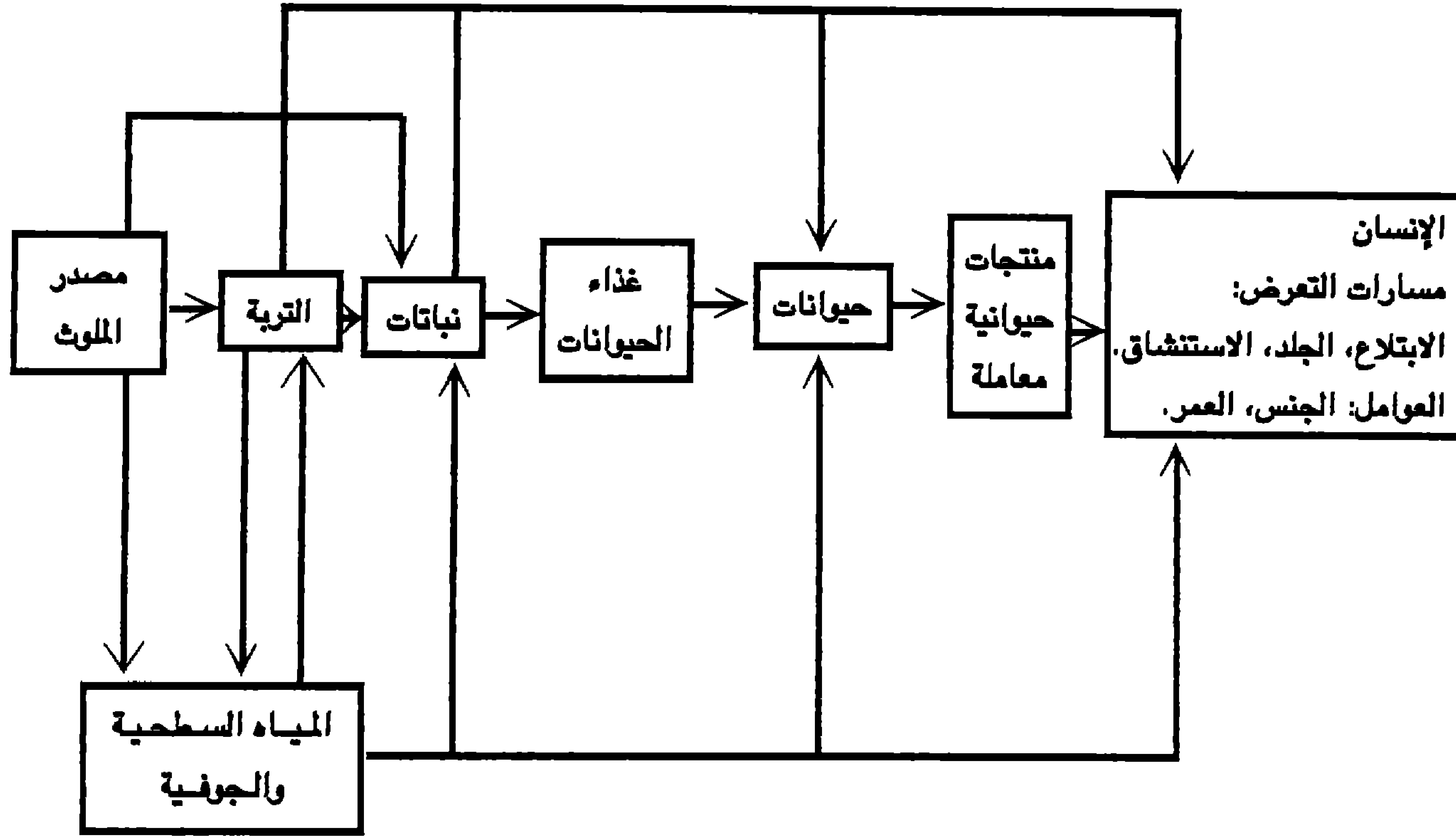
تمثل **جودة التربة** جزءًا مهمًا فى هذا الكتاب، وتقاس بطرق عديدة تعتمد على عوامل مثل الاستخدام المطلوب لمواد التربة. وبأوسع معنى، فإن الخواص الفيزيائية والخواص الكيميائية تحدد جودة التربة. **فالخواص الفيزيائية** - مثل: الكثافة الظاهرية، القوام، النفاذية، الرشح، قدرة الحفظ للماء، الخواص البنائية - يمكن قياسها كَميًا وربطها بجودة التربة. **والخواص الكيميائية** - وهى تركيزات المكونات العضوية وغير العضوية التى تُحدّد خواص الأراضى مثل: خصوبة التربة، النشاط البيولوجى، درجة التلوث، الملوحة، التأكسد (التآكل)، جهد الانكماش والتمدد - يمكن أيضا تقديرها كمياً وربطها بجودة التربة. وفى الواقع، فإن معظم هذا الكتاب يناقش جودة الأراضى مع التركيز الشديد على العناصر الغذائية، والمبيدات، والمواد الضارة، والعناصر النادرة.

ومن الناحية العملية، فإننا نهتم بموضوعات مثل قدرة التربة على إنتاج الغذاء، أو الألياف، أو الأعلاف؛ والخواص البنائية والخواص المحدِّدة ؛ والقدرة على المحافظة على النظام البيئى أو الاستخدام المرغوب للأرض، وهذه يشار إليها أحيانا **بوظائف التربة**، كما أن قدرة التربة على إنتاج الغذاء، أو الألياف، أو الأعلاف تشير إلى المساهمة التى تقوم بها التربة فى قدرة موقع ما على الإنتاج المربح من المحاصيل الخالية من المواد الضارة. وعلى ذلك فإن جودة الموقع تشمل التوافق المرغوب لخواص التربة (بما فى ذلك تركيزات منخفضة للملوثات)، والمناخ، والماء الميسر. أمَّا الخواص البنائية والخواص المحدِّدة فهى موضوعات خارج مجال هذا الكتاب، وتشير بصفة أساسية إلى الخواص الكيميائية والمنرالوجية التى تؤثر على خواص الأراضى مثل قدرة الإنتفاخ والإنكماش والتآكل التى، بالتالى، تُحدِّد الصلاحية لإنشاء أدوار سفلية تحت الأرض أو لدفن مواد فى الأرض.

يمكن شرح القدرة على المحافظة على النظام البيئى أو الاستخدام المرغوب للأرض بالمثال التالى: لو أن تربة ماتكونت تحت غابة استوائية ممطرة، ولها القدرة على المحافظة على هذا النظام البيئى، فإنه بمنطقنا العقلى تُعتبر هذه التربة عالية الجودة. ولو أزيلت الغابة وحل محلها محاصيل فإن إنتاج المحاصيل المربحة يمكن المحافظة عليه لعدة سنوات قليلة فقط؛ وذلك راجع إلى النقص السريع فى المادة العضوية فى التربة، ومايصحبه من استنفاذ للعناصر الغذائية ونقص فى نوعية أو جودة التربة الفيزيائية، بسبب التعرض إلى ظروف مؤكسدة وتعرية سريعة تحدث عند سقوط كميات غزيرة من الأمطار على سطح التربة العارى. وبعد وقت قصير، فإن عوامل التعرية والتغيرات فى خصوبة التربة سوف تجعل التربة غير قادرة على المحافظة على النظام البيئى للغابة الممطرة أو على الاستخدام المرغوب للأرض (إنتاج المحاصيل)، وسوف تقل بسرعة جودة التربة. وعلى العكس من ذلك فى حالة الأراضى فى المنطقة الوسطى الغربية من الولايات المتحدة الأمريكية، حيث أزيلت منها غابات الأشجار الخشبية بغرض إنتاج المحاصيل. وفى هذه الحالة، تستمر التربة فى قدرتها على إنتاج محاصيل مربحة وأيضا فى دعم الكساء الخضرى الأصلى.

٣ – ٤ تعرض الإنسان لملوثات التربة :

يمثل شكل ٣ – ١ رسما تخطيطيا لمسارات تعرض الإنسان للملوثات المضافة للأراضى، ولعل أكبر مُكوّن فى هذا التخطيط هو سلسلة غذاء الإنسان حيث تُستخدم المحاصيل مباشرة بواسطة الإنسان أو تتغذى عليها الماشية، وتُستخدم المنتجات الحيوانية كغذاء للإنسان. وتدخل أيضا المصادر السطحية أو الجوفية لمياه الشرب فى هذا الشأن. وإنه من الضرورى أن نُجزِّئ الخطوات العديدة التى يسلكها ملوث ما كُلَّما تقدَّم ابتداءً من الامتصاص بواسطة النبات إلى استهلاك الإنسان لأنسجة الحيوان المعاملة، وكلَّما انتقل الملوث من قسمٍ إلى آخر، فإن عمليات عديدة يمكن أن تؤثر فى الكمية التى سوف تصل إلى الإنسان فى نهاية المطاف. وعلى سبيل المثال، فإن التشريعات المحددة للتركيزات القصوى المسموح بها لعنصر الرصاص والكادميوم فى الأراضى تسمح بتركيزات أعلى جدا للرصاص إذا قورن بعنصر الكادميوم، بالرغم أن الرصاص أكثر سمية للإنسان عن الكادميوم ؛ وهذا بسبب أنه، عند تركيزات متساوية لكل من الرصاص والكاديوم فى التربة، تكون تركيزات الرصاص فى النباتات أقل بكثير جداً من تركيزات الكادميوم، وبالتالى، فإن انتقال الرصاص فى السلسلة الغذائية سوف يكون أقل بكثير. وبطريقة مماثلة، يمكن للملوثات أن تنقسم إلى أجزاء عديدة فى داخل جسم الحيوان، كما تقوم الدهون، ولحوم الأعضاء، وأنسجة العضلات بتجميع تركيزات مختلفة لملوث معين. وعلى سبيل المثال، فإن مركبات Poly- (PCBs) chlorinated biphenyls عبارة عن دهن ذائب، يتجزأ أو يتكسر بشدة فى أنسجة الدهون بالمقارنة بأنسجة العضلات. ويستخدم بعض الباحثين **معامل الانتقال** لوصف التغير فى تركيز الملوث عندما ينتقل من التربة إلى النبات. ومن النبات إلى الحيوان ... إلخ. وبكل وضوح، فإن كُل ملوث يتطلب مجموعة فريدة من معاملات الانتقال، والتى يمكن أن يكون لها قيم تتراوح من قرب الصفر إلى ١٠٠٠ أو حتى أكثر.



شكل ٢ – ١مسارات تعرض الإنسان للملوثات المضافة إلى الأراضى

وبالأضافة إلى الانتقال فى السلسلة الغذائية، توجد مسارات عديدة أخرى عن طريقها يتعرض الإنسان إلى ملوثات التربة، وهى موضحة فى شكل ٣ - ١؛ فيمكن للملوثات أن تصل إلى المياه السطحية والجوفية، وهذه تضاف مرة أخرى إلى التربة كمياه رى أو يبلعها الإنسان والحيوان مباشرة، كما يمكن لحيوانات الرعى والأطفال الرضع ابتلاع التربة مباشرة. ويتعرض الأشخاص الذين يستنشقون حبيبات الأتربة للملوثات الموجودة فى هذه الأتربة، ويمكن أيضا للأطفال الذين يبتلعون أى شىء فى أيديهم أو الأطفال المعوقين المرضى (الذين لديهم رغبة غير عادية لأكل مواد غير مناسبة للاستهلاك البشرى، وبخاصة مواد التربة أو مواد الرسم) أن يستهلكوا مباشرة كميات كبيرة من التربة. وهذه المسارات الإضافية يجب أيضا أخذها فى الاعتبار عند اتخاذ القرارات المنظمة ؛ فالأطفال المعوقين، على سبيل المثال، يمكن أن يُغَيِّروا التشريعات المنظمة لمستويات الرصاص فى التربة بسبب أنهم أكثر عرضة للخطر عن غيرهم من الأفراد الآخرين المعرضين للخطر عن طريق الانتقال فى السلسلة الغذائية.

ويمثل الشكل رقم ٣ - ١ ملخصًا بسيطًا جدا لبعض العمليات أو التحولات المعقدة، وبالرغم من ذلك، فإنه يغطى الخطوات الكبيرة الرئيسية التى توضح فى تعرض الإنسان لملوثات التربة، ويمكن للمرء أن يرسم أشكالاً مماثلة لأى كائن، وسوف تظهر مراجع هذا الشكل خلال صفحات هذا الكتاب.

٣ - ٥ القضايا البيئية الرئيسية فى علم الأراضى :

ملخص :

يستطيع المرء أن يقوم بتجميع قائمة طويلة جدا من المشاكل البيئية الفردية التى لها علاقة بعلوم الأراضى، ويمكن أن تشمل القائمة مشاكل مثل: التسرب أو الرشح من خزانات المياه الجوفية، والأراضى الملوثة بالعناصر النادرة، والأراضى المالحة، والأراضى التى حدثت لها تعرية، والأراضى التى حدث لها تحميض. ولعله من المفيد

والمناسب أن نعرض أقسام القضايا البيئية الرئيسية فى علوم الأراضى. على أن معظم هذه القضايا تقع فى واحد أو أكثر من الأقسام التالية:

١) انخفاض جودة التربة بسبب احتوائها تركيزات غير مقبولة من الملوثات :

يشمل هذا القسم الأراضى التى يتعرض الإنسان أو الكائنات الأخرى إلى ملوثاتها والتى قد تسبب تأثيرات ضارة إما بطريقة مباشرة أو من خلال تحول السلسلة الغذائية.

هذا القسم كبير ومنتشر بدرجة كبيرة ويشمل المشاكل الناتجة عن أقسام المبيدات، والمواد الضارة، والعناصر النادرة المدونة فى جدول ٣ – ١.

٢) انخفاض فى جودة التربة يحد من وظيفتها :

الأراضى التى تعرضت للتعرية، أو التى حدث لها تحميض، أو الأراضى المتأثرة بالملوحة، والتى لم تعد تستطيع أن تدعم الاستخدام المحدد لها أو للنظام البيئى، تقع فى هذا القسم. أمَّا التأثيرات الضارة المباشرة للإنسان أو للكائنات الأخرى بسبب التعرض للملوثات فليست إحدى قضايا هذا القسم.

٣) الأراضى كمصدر للملوثات :

يشمل هذا القسم فَقْد الكيماويات أو المواد العديدة من الأرض مع مياه الرشح أو الأمطار الجارية على السطح. وهنا، فإن وجود مادة مافى التربة ليست هى المشكلة الأساسية، ولكن المهم هو تأثيرات هذه المادة على البيئة عندما تترك أو تبتعد عن الموضع الأصلى لإضافتها. وعلى ذلك، فإن الانخفاض فى جودة التربة كما توضحه التحاليل الكيميائية ليس هو القضية أو المشكلة بالضرورة، ولكن المشكلة هى التعارض

بين وظيفة التربة أو استخدامها والبيئة المحيطة ؛ فالاستخدامات الزراعية والبستانية للمبيدات والعناصر الغذائية تعتبر هنا أمثلة رئيسية. ويتطلب حل هذه المشاكل فى الأساس فهم ومعرفة جميع المخاطر، وأولويات استخدام الأراضى، والجودة المرغوبة للبيئة.

وتكون استجابة المجتمع إلى قضايا علم الأراضى البيئية مختلفة. فتُعَدُّ التشريعات التى تمنع تلوث الأراضى أو التى تقاوم استخدام مواد تعتبر ملوثات، كما تُجرى البحوث على طرق علاج الأراضى الملوثة وفهم مصير وانتقال الملوثات فى البيئة. وتُنفّذ مشاريع حكومية لكى تمنع تدهور جودة الأراضى بواسطة التعرية. ومع ذلك، هناك أعمال كثيرة مطلوبة تتعلق بفهم تفاعلات بيئة التربة مع الملوثات الخطيرة؛ من أجل استخدام الأراضى لنفع المجتمع مع المحافظة – فى الوقت نفسه – على جودة التربة.

المراجع :

Brams, E., Anthony, W., and Witherspoon, L., Biological monitoring of an agricultural food chain: soil cadmium and lead in ruminant tissues, J. Environ. Qual., 18,317, 1989.

Miller, G. T., Environmental Science: Sustaining the Earth, Wadsworth Publishers, Belmont, CA, 1991.

مراجع مساعدة:

Hillel, D. J., Out of the Earth, Civilization and the Life of the Soil, The Free Press, A Division of Macmillan, New York. 1991.

Nebel, B. J., Environmental Science: The Way the World Works, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.

Wagner, T, P., Hazardous Waste: Identification and Classification Manual, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

الفصل الرابع

نتروجين التربة والجودة البيئية

٤ – ١ النتروجين والبيئة :

يعتبر النتروجين (N) من الناحية الجدلية أهم عنصر من بين جميع العناصر الغذائية للنبات، ومع ذلك فهو أكثرهم صعوبة فى إدارته. ومن الناحية المطلقة، هو عنصر حيوى للزراعة الحديثة، إلا أنه ثبت أيضًا أن له عدداً من التأثيرات البيئية الخطيرة جدا، طبقا لما تم تلخيصه فى جدول ٤ – ١، وسيلقى هذا الفصل الضوء على النتروجين فى الأراضى الزراعية، مع إيضاح القضايا ذات الأهمية العظمى الخاصة بإدارة نتروجين التربة إدارة بيئية سليمة، وسوف يَتمّ عَرْض بعض الحالات التى تختلف اختلافا كبيرا عن الزراعة التقليدية (مثل: استصلاح الأراضى، البستنة الحضرية، علم الغابات) وذلك لإيضاح الأساليب المختلفة اللازمة لإدارة نتروجين التربة بكفاءة فى نظام بيئى تساهم فيه المدن، والمزارع، والصناعات، وسوف نبدأ بالأسئلة الجوهرية الآتية:

* ماهو الأساس فى القضايا العمومية فيما يخص تأثير النتروجين على صحة الإنسان والحيوان، ودوره فى تلوث المياه السطحية والجوفية، وتكوين الأمطار الحامضية، وتدمير طبقة الأوزون فى الستراتوسفير؟
* كيف يمكننا استخدام معلوماتنا عن العمليات الكيميائية والبيولوجية العديدة والمعقدة الخاصة **بدورة نتروجين التربة** لهدف تحسين إدارتنا لجميع مصادر النتروجين، من الأسمدة المعدنية إلى الأسمدة الحيوانية، وحمأة المجارى، والمواد العضوية الصناعية؟

جدول ٤ – ١ ملخص المشاكل البيئية المرتبطة بالنتروجين.

المشكلة البيئية	المسببات والتأثيرات
صحة الإنسان والحيوان:	
الثيموجلوبينيميا	استهلاك مياه شرب وأطعمة تحتوى على نترات بتركيزات عالية؛ مهم بصفة خاصة للأطفال حيث أنه يعطل انتقال الأكسجين فى الدم.
السرطان	التعرض لمركبات النتروسوأمينات الناتجة من تفاعل الأمينات مع مركبات النتروز، ازداد سرطان الجلد بزيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية بسبب تدمير طبقة الأوزون.
التسمم بالنترات	ابتلاع الماشية طعاما أو مياه تحتوى نترات بتركيزات عالية.
تدمير النظام البيئى:	
تلوث المياه الجوفية	غسيل النترات من الأسمدة المعدنية، والأسمدة الحيوانية، والحمأة، والمخلفات السائلة، وخزانات الصرف الصحى؛ يمكن أن تؤثر على صحة الإنسان والحيوان، والحالة الغذائية للمياه السطحية.
التشبع الغذائى للمياه السطحية	النتروجين الذائب أو المرتبط بالرواسب الناتجة من التعرية، أو سريان المياه على السطح، أو انسياب المياه الجوفية، ودخول هذا النتروجين فى

تابع جدول ٤ – ١

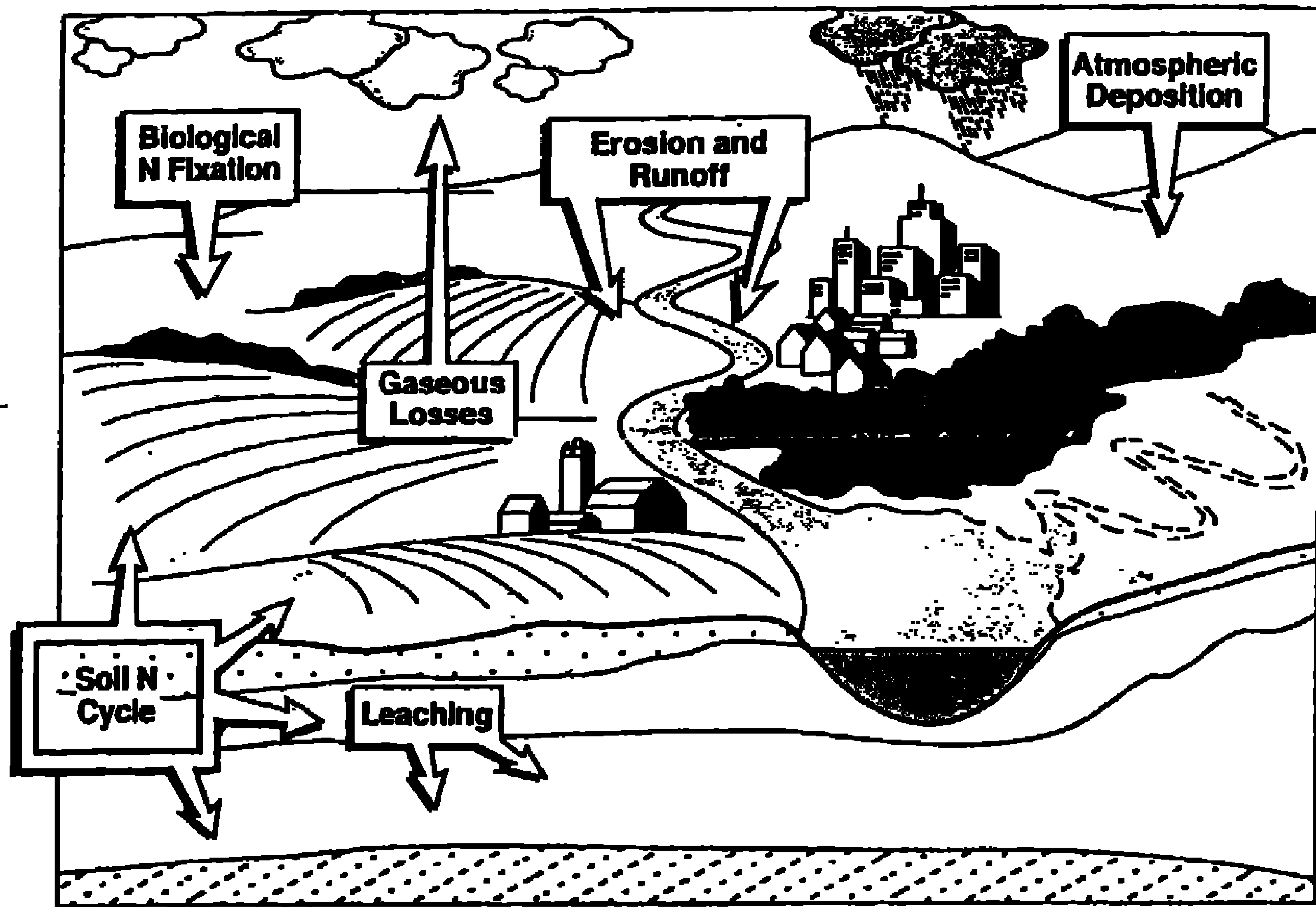
	المياه السطحية؛ الانسياب المباشر للنتروجين من وحدات معالجة مياه الصرف الصحى والصناعى؛ الترسيب الجوى للأمونيا وحمض النتريك؛ التدهور العام لجودة المياه والتنوع البيولوجى للمياه العذبة.
الترسيب الحامضى	عودة حامض النتريك الناشئ من تفاعل أكاسيد النتروجين مع الرطوبة فى الجو إلى النظام البيئى الأرضى فى هيئة مطر حامضى، أو جليد، أو ندى، أو ضباب (الترسيب الرطب) أو فى هيئة مواد عالقة (الترسيب الجاف)؛ تحدث تدميراً للكساء الخضرى الحساس، وتحميضاً للمياه السطحية، – وكما هو الحال مع ظاهرة التشبع الغذائى – يحدث تغيير غير مرغوب فى التنوع البيولوجى فى البحيرات، والجداول، والخلجان.
استنفاذ الأوزون فى طبقة الستراتوسفير، وتغير المناخ العالمى.	انتقال أكاسيد النتروز الناتجة من احتراق الوقود الحفرى عن طريق الصناعات والمركبات، ومن عملية عكس التأزت التى تحدث للنترات فى الأراضى – إلى طبقة الستراتوسفير فى الجو حيث يحدث تدمير للأوزون؛ وتزداد الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على سطح الكرة الأرضية وتؤدى إلى حدوث تدفئة على مستوى العالم.

(Keeney, 1982.)

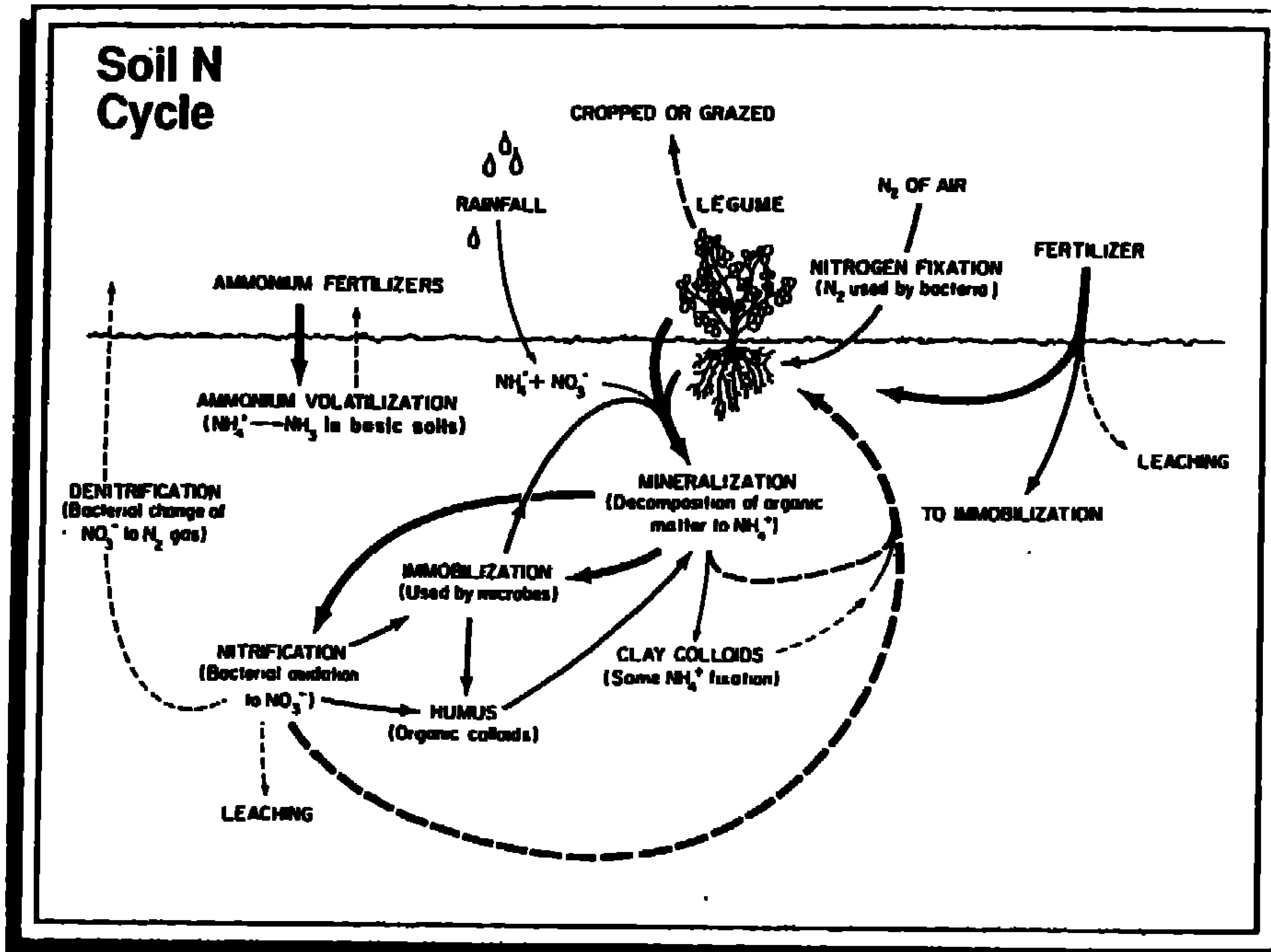
٤ – ١ – ١ أصل وتوزيع النتروجين في البيئة:

لكى نفهم جيداً المشاكل البيئية التى يسببها النتروجين، ولكى نُطوِّر أساليب فعالة بتكلفة معقولة لإدارة النتروجين، فمن الضرورى أن يكون لدينا فهم جيد بأصل النتروجين ودورته فى الأغلفة الرئيسية الأربعة المحيطة بالأرض وهى: الليثوسفير، والغلاف المائى، والغلاف الجوى، والغلاف الحيوى (انظر الفصل الثانى الذى يناقش هذه الأغلفة). ومعظم (< ٩٨٪) نتروجين الأرض موجود فى الليثوسفير، إما فى قلب الأرض فى الصخور النارية والرسوبية والرواسب البحرية، أو فى الأراضى. الـ ٢٪ الباقية موزعة بين الغلاف الجوى، والغلاف المائى، والغلاف الحيوى. ويوجد النتروجين فى الغلاف الجوى بصفة أساسية فى صورة غاز نتروجين N_2 غير نشط، وهو يمثل ٧٨٪ من غازات الغلاف الجوى. أما فى الغلاف المائى، فيوجد النتروجين فى صورة نتروجين ذائب عضوى أو غير عضوى. كما أن النتروجين أيضا مُكوِّن حيوى للغلاف الحيوى، الذى يتكوّن من النباتات والحيوانات الحية. ويمكن أن يوجد النتروجين فى صورٍ مختلفة فى هذه الأغلفة، بما فى ذلك النتروجين فى صورة جزيئية، وجزئيات عضوية، ومواد جيولوجية، وغازات، وأيونات ذائبة.

والنتروجين عنصر ديناميكي بدرجة كبيرة، قادر على أن يتحول، بيوكيميائيا أو كيميائيا، خلال سلسلة من العمليات يمكن تلخيصها فى مايسمى دورة النتروجين (شكل ٤ – ١). وتشمل معظم تحولات النتروجين تفاعلات أكسدة (فقد الكترونات) أو تفاعلات اختزال (اكتساب الكترونات) بواسطة ذرة النتروجين عن طريق كل من الوسائل البيولوجية والكيميائية. وتتراوح حالات تأكسد النتروجين فى الطبيعة من (+5)فى أنيون النترات (NO_3^-) إلى (-3) للأمونيا (NH_3) أو الأمونيوم (NH_4^+). وتعتبر دورة النتروجين (شكل ٤ – ٢) المشروحة بالتفصيل فى قسم ٤ – ٢ جزءاً من دورة النتروجين الكلية. وفى هذا الفصل نحاول أن نوضح كيف تؤثر إدارة دورة نتروجين التربة فى باقى الأقسام الأخرى لدورة النتروجين العالمية مثل الطبقات الصخرية الحاملة للمياه الجوفية فى الغلاف المائى.



شكل ٤ – ١ دورة النتروجين العالمية، وتوجد دورة نتروجين التربة موضحة بالتفصيل فى شكل ٤ – ٢.



(Danahve et al. 1983.) شكل ٤ – ٢ دورة نتروجين التربة.

وبصفة عامة، يوجد ثلاث مدخلات طبيعية كبيرة فى دورة نتروجين التربة وهى: **الترسيب الجوى، التثبيت الحيوى للتروجين، والتجوية والتحلل**. ويحدث الترسيب الجوى فى صورة نتروجين غير عضوى ونتروجين عضوى فى الأمطار أو المواد العالقة الجافة والتثبيت الحيوى للنتروجين عبارة عن تحول نتروجين الهواء الجوى الغازى إلى أمونيا وبعد ذلك إلى نتروجين عضوى بواسطة الكائنات التكافلية وغير التكافلية. أما تفاعلات التجوية والتحلل فهى تلك العمليات التى يتحول فيها النتروجين العضوى أو غير العضوى الثابت (السابق تثبيته أو الذى سبق ترسيبه فى صورة نتروجين عضوى أو غير عضوى) إلى صور كيميائية أو بيولوجية أكثر نشاطا. وتشمل العمليات الطبيعية الكبرى التى عن طريقها يُفقد النتروجين من التربة - الانطلاق فى صورة غاز (تطاير الأمونيا، عكس التأزت الكيميائية أو البكتيرية للنترات)، وعمليات الانتقال فى صورة نتروجين ذائب فى المياه الراشحة خلال الأراضى (الغسيل) أو فى المياه والرواسب المتحركة على سطح التربة (التعرية وسريان مياه الأمطار). وتشمل إدارة نتروجين التربة، بصفة أساسية، علاج أو استكمال هذه العمليات الطبيعية (مثل التسميد) لإنتاج النباتات لغرض الحصول على الغذاء أو الألياف، أو للزينة. وتنشأ الاهتمامات البيئية بالنتروجين عندما يؤدى أحد هذه التحولات إلى تحويل وتركيز النتروجين فى صورة يمكن أن يكون لها تأثيرات عكسية على صحة أى كائن وجودة أى بيئة. ويجب أن نتذكر أنه بالرغم من أن صوراً قليلة فقط للنتروجين تعتبر حاليا ضارة بيئيا، إلا أن عمليات دورة النتروجين تنظم - على المستوى العالمى والمحلى - كمية النتروجين الموجود فى كل صورة من هذه الصور. وعلى ذلك فإن مقاومة التلوث الحادث بواسطة النتروجين يبدأ بفهم كيف يمكننا أن نتحكم فى دورة النتروجين فى الأراضى وفى النظم البيئية الأخرى.

إن التقديرات العالمية للتغيرات طويلة المدى فى توزيع النتروجين بين هذه الأغلفة الأربعة مشكوك فيها. وبالرغم من ذلك، فإن النشاط البشرى أظهر تأثيراً واضحاً فى هذا التوزيع، فقد جعل هذا النشاط بعض قطاعات بيئة الكرة الأرضية غنية

بالنتروجين، بينما – فى نفس الوقت – استنفذه من مناطق أخرى. وكثير من المظاهر الأساسية للحضارة الحديثة – مثل الزراعة، والتحضر، والصناعة، والنقل، ونظم معالجة المياه أو المخلفات – لها القدرة على إحداث تأثير كبير فى توزيع النتروجين على المستوى المحلى، وكذلك فى توزيعه تراكميا على المستوى العالمى. ولسوء الحظ، فإن حركة أى عنصر مثل النتروجين، الراجعة لفعل الإنسان، إلى أى جزء من البيئة حيث يكون لها فيه تأثير سلبى – تعتبر فى الغالب مرادفة للتلوث. وبالرغم من أنه (كما يرى فى جدول ٤ – ١) توجد مجموعة متنوعة واسعة للتأثيرات البيئية الناتجة عن إعادة توزيع النتروجين، من وجهة نظر إدارة نتروجين التربة، فإن صور النتروجين ذات الأهمية القصوى هى النترات (NO_3^-) وأكاسيد النتروز (N_2O,NO). وبالرغم من أن فهمنا بعيد عن الكمال بالنسبة للآليات التى تسبب التلوث بالنترات وبأكاسيد النتروز، فتوجد لدينا معلومات أساسية عن العمليات والوسائل التى تساعدنا على تلافى هذا التلوث.

٤ – ١ – ٢ تأثير النتروجين علي صحة الإنسان والحيوان :

هناك شك بسيط فى أن المياه الجوفية، وبالتحديد مياه الشرب الملوثة بالنترات تمثل فى الوقت الحاضر المشكلة البيئية التى تلقى أكبر اهتمام فى إدارة النتروجين. وإن أهم أمراض الإنسان والحيوان المرتبطة باستهلاك زيادة من النترات من مياه الشرب، أو حتى من بعض الأغذية التى تمثل جزءاً من غذاء الإنسان والحيوان، هى: الميثيموجلوبينيميا (أعراض الطفل الأزرق) واحتمال التأثيرات المسرطنة لفئة أخرى من المركبات النتروجينية وهى النتروزأمينات. ولا تحدث، مباشرة، أعراض مرض الطفل الأزرق بواسطة النترات، ولكنها تحدث عندما تختزل النترات (NO_3^-) إلى نتريت (NO_2^-) بواسطة البكتريا الموجودة فى القناة الهضمية للإنسان والحيوان. بعد ذلك يقوم النتريت بأكسدة الحديد فى جزئ الهيموجلوبين من Fe^{2+} إلى Fe^{3+}، مكونا ميثيموجلوبين، الذى لا يستطيع أن يؤدى وظائف الهيموجلوبين فى الانتقال الضرورى

للأكسـجين. وهذا يؤدى إلى تلوّن جلد الأطفـال الرضـع باللون الأزرق، ومن هنا جـاء أصل مصطلح أعراض الطفل الأزرق. ويمثل مرض الميثيموجلوبينيميا مشكلة غاية فى الخطورة للأطفال الرضع عنها فى البالغين؛ لأنه بعد سن ٣ - ٦ شهور فإن الحموضة فى معدة الإنسان تزداد لدرجة كافية تُوقف نشاط البكتريا التى تحول النترات إلى نيتريت. وبالرغم من أن الحالات الرسمية لمرض الميثيموجلوبينيميا نادرة جدا، فإن وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) قد حددت حداً أقصى للملوث وهو ١٠ ملليجرام نتروجين فى اللتر (٥٤ ملليجرام نترات فى اللتر) وذلك لتحقيق الأمان لمصادر مياه الشـرب فى الولايات المتـحـدة الأمـريكيـة. والحـيـوانات أيضـا حـسـاسـة لمرض الميثيموجلوبينيميا، بالرغم من أن حد الأمان المسموح به للماشية أعلى بكثير عن الإنسان، فهو يبلغ حوالى ٤٠ ملليجرام نتروجين فى اللتر (١٨٠ ملليجرام نترات فى اللتر) للماشية.

وتكمن المشكلة الصحية الكبيرة للنتروجين فى التأثيرات السرطانية الخطيرة للنتروز أمينات، وهى مركبات ذات بناء كيميائى عام $R_2N-N=O$. حيث تمثل R مجموعة كربون (مثل - CH3). وتتكون النتروز أمينات تحت ظروف الحموضة الشديدة (رقم حموضة أقل من ٤) من تفاعل الأمينات الثانوية والثلاثية (R_2NH , R_3N) مع حمض النتروز اللامائى (N_2O_3). وقد لوحظ أنها تحدث أوراما للحيوانات فى المعامل، ولكن الدليل الحاسم على الدور المسبب للنتروزأمينات فى سرطان الإنسان غيرموجود حتى الآن.

٤ - ١ - ٣ النتروجين وعملية التشبع الغذائى :

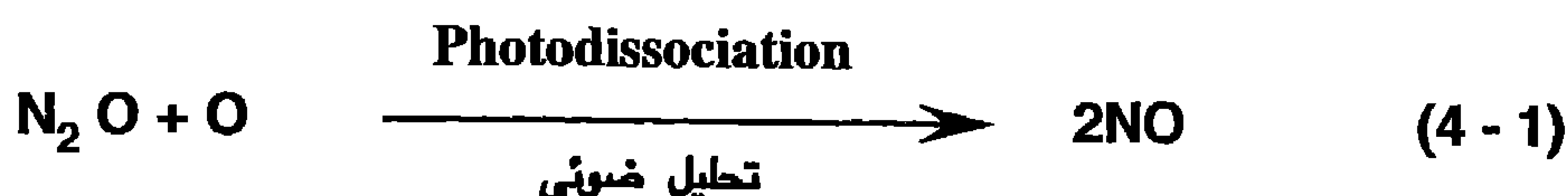
تعرف **عملية التشبع الغذائى** بأنها زيادة فى حالة العنصر الغذائى فى المياه الطبيعية التى تسبب نمواً سريعًا للطحالب والنباتات المائية، واستنفاذ الأكسجين الذائب، وعكارة زائدة، وتدهور عام لجودة المياه. وإن أسباب ظاهرة التشبع الغذائى وإدارتها مشروحة بالتفصيل فى الفصلين الثانى والخامس، ولكن إغناء البحيرات، والبرك، ومصبات الأنهار بالنتروجين والفوسفور من مياه الأمطار السارية على السطح

أو من تدفق المياه الجوفية – تعتبر من العوامل المشاركة فى حدوث هذه الظاهرة، كما أن مستويات النتروجين اللازمة لتشجيع عملية التشبع الغذائى فى المياه العذبة والمياه عند مصبات الأنهار؛ منخفضة بدرجة كبيرة عن القيم الموجودة فى مياه الشرب الملوثة. وبالرغم من اختلاف التقديرات واعتمادها بدرجة كبيرة على نسبة P : N فى المياه، يشيع استخدام تركيزات ٥ ر. – ٠ ر١ ملليجرام نتروجين فى اللتر كأرقام حدّية لبداية حدوث عملية التشبع الغذائى. والبيئات البحرية أكثر حساسية؛ لأن مستويات الملوحة بها أعلى، وعلى ذلك فلها مستويات بداية أقل للنتروجين (< ٦ر٠ ملليجرام نتروجين/لتر). ومن المهم أن نتذكر أن النتروجين فى المياه السطحية يعكس المدخلات الزراعية (غير معروف، فى الأساس، نقطة انطلاقها فى الطبيعة) وكذلك مدخلات النتروجين من الصرف المباشر لمياه الصرف الصحى من البلديات، والصناعة، وتطوير مناطق الاستجمام. ويساهم أيضا الترسيب الجوى فى هيئة كل من المطر (المطر الحامضى) والمواد العالقة، وتثبيت النتروجين الجوى عن طريق الكائنات المائية ؛ فى الكمية الكلية المتجمعة للنتروجين فى المياه السطحية.

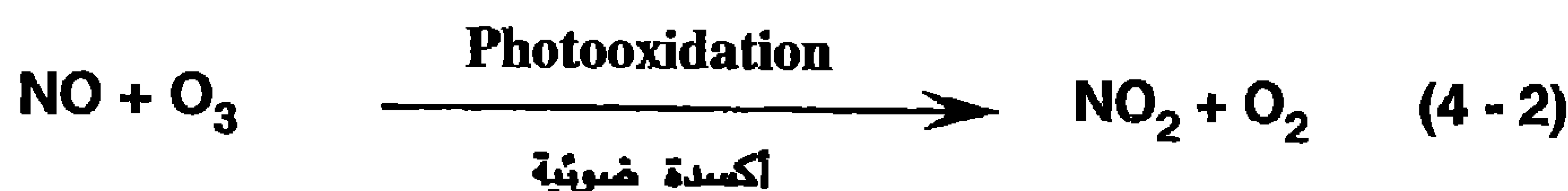
٤ – ١ – ٤ التأثيرات الجوية للنتروجين: الترسيب الحامضى وطبقة الأوزون:

اتضح أن للنتروجين ثلاثة تأثيرات خطيرة على الغلاف الجوى للكرة الأرضية، وبسبب هذه التغيرات الجوية تعزى تأثيرات النتروجين على جودة البيئات الأرضية والمائية. يتكون حمض النتريك (HNO_3) بصفة أولية عن طريق انطلاق أكاسيد النتروز (N_2O, NO) إلى الجو خلال احتراق الوقود الحفرى، وهو يعتبر مكونًا رئيسيًا **للمطر الحامضى**. وأوضحت الدراسات أن المطر الحامضى (رقم حموضة أقل من ٦ر٥)، والضباب الحامضى، والترسيب الجاف للمواد العالقة الحامضية يمكن أن يؤثر سلبيا وبدرجة خطيرة على النظم البيئية للغابات والمياه السطحية، ولكن حتى الآن فإن التأثير على الأراضى الزراعية والمحاصيل قليل إلى الحد الأدنى.

واتضح أن أكاسيد النتروز تسبب أكسدة ضوئية للأوزون (O_3) فى الستراتوسفير؛ وتسبب انخفاضًا فى قدرة طبقة الأوزون على حماية الكرة الأرضية من الإشعاع فوق البنفسجى الكثيف المنبعث من الشمس، كما تساهم فى تدفئة الكرة الأرضية. وفيما يلى تفاعلات أكاسيد النتروجين مع الأوزون:



$$N_2O + O \xrightarrow[\text{تحليل ضوئى}]{\text{Photodissociation}} 2NO \qquad (4 - 1)$$



$$NO + O_3 \xrightarrow[\text{أكسدة ضوئية}]{\text{Photooxidation}} NO_2 + O_2 \qquad (4 - 2)$$

وبالإضافة إلى احتراق الفحم، والبترول، والجازولين، فإن عملية عكس التأزت البيولوجية تعتبر مصدرًا رئيسيًا (غير معروف نقطة انطلاقه) لأكاسيد النتروجين (N_2O , NO)، والتى فيها تقوم الكائنات الدقيقة فى التربة باختزال النترات NO_3^- إلى أكسيد النتروز (N_2O) تحت ظروف نقص الأكسجين، كما يمكن أن تحدث أيضا فى التربة عملية عكس التأزت الكيميائية وتؤدى إلى انطلاق أكاسيد النتروجين تحت الظروف جيدة التهوية. ولقد نوقشت هذه العمليات جميعها بالتفصيل فى قسم ٤ – ٢ – ٢. والتأثير الثالث عبارة عن دور ثانى أكسيد النتروجين فى تأثير غازات الصوبة الراجع للنشاط البشرى، وسوف نناقشه فى الفصل العاشر.

٤ – ١ – ٥ تقويم خطر التلوث بالنتروجين:

إن التأثيرات البيئية للنتروجين التى ذكرت سابقًا مُوثّقة على كل من المستوى المحلى، والإقليمى، والعالمى. وعلى عكس بعض صور التلوث، فإن التأثيرات العكسية للنتروجين ليست واضحة بدرجة مباشرة كما أن مستوى الخطر ليس واضحاً أيضا.

ولو أخذنا فى الاعتبار الطبيعة المحدودة للوسائل الميسرة التى تستخدم لتسكين (لتخفيف) جميع صور التلوث، وكذلك الأهمية الحرجة للنتروجين لإنتاج الغذاء، فإن التقويم السليم المناسب لهذا الخطر ضرورى من أجل وضع أولويات الجهود لعلاج التلوث بالنتروجين. وسوف يتم وصف العملية التى تستخدم لتقويم الخطر تفصيليا فى الفصل الحادى عشر، ولكن توجد، فى الوقت الحالى، نقاط معينة واضحة بالنسبة للتلوث بالنتروجين وإدارة التربة.

أولاً: هناك إدراك شعبى واضح بأن الزراعة تساهم فى تلوث المياه السطحية والجوفية بالنتروجين عن طريق التسميد غير المناسب والإدارة غير السليمة للمخلفات العضوية. وبالرغم من أن البحث العلمى أثبت هذا الأمر، إلا أنه أوضح أيضا أن تلوث المياه الجوفية بالنترات غالبا مايكون محلياً فى طبيعته ويرتبط مع مشاكل إقليمية خاصة مثل : الأراضى جيدة الصرف، ومستوى الماء الأرضى الضحل، والانتاج الحيوانى عالى التركيز، والرى المكثف، والتخلص من المخلفات ومياه الصرف الصحى بواسطة البلديات أو الصناعة. ويؤكد الثقل الناتج من اتحاد الإدراك الشعبى والتوثيق العلمي أن الخطر سوف يواجه بواسطة الوكالات العلمية والاستشارية والتشريعية. والخلاصة، أن هناك اتفاقًا كافيًا بين جميع الأحزاب على أن الخطر موجود، ومن الضرورى أن يكون هناك التزام من مصادر التلوث بأن تقلل تأثيراتها. وعلى العكس، فإن التأثيرات الجوية لأكاسيد النتروجين الناشئة من الأراضى الزراعية ليست مفهومة تمامًا (أو مفهومة بدرجة أقل بكثير). علاوة على ذلك، فإن الدور الأكبر للصناعة والمناطق الحضرية فى توليد أكاسيد النتروجين يجبرنا أن نوجه جهودنا لمكافحة التلوث أولاً ناحية المصادر غير الزراعية، وفى نفس الوقت فإن انبعاث النتروجين من الأراضى يجب أن ينخفض إلى الحد الأدنى.

ثانيًا: يجب أن نعترف بأن هناك عقبات كبيرة لتخفيض التلوث بالنتروجين الناشئ من كل من الأراضى الزراعية وغيرالزراعية. وتؤدى فى الغالب الضغوط لإنتاج

كميات متزايدة من الغذاء مع ثبات مساحة الأراضى الصالحة للزراعة، إلى استخدام معدلات نتروجين أعلى، وفى الغالب أقل كفاءة؛ حيث يحل نتروجين السماد محل نتروجين التربة فى عملية الإنتاج . وإن الحاجة إلى المحافظة على ربحية المزرعة وعلى التكاليف المنخفضة للسماد النتروجينى تؤيد استخدام التأمين على عملية التسميد للتغلب على فقد النتروجين غير المتوقع الذى تسببه حوادث المناخ التى يتعذر السيطرة عليها. كما أن طبيعة الزراعة الحديثة المعتمدة على الحيوانات تركز العناصر الغذائية المأخوذة من الأراضى، والأسمدة، والنتروجين العضوى فى المناطق التى ليس بها مساحات كافية من الأراضى للاستخدام المناسب للنتروجين. وهناك سيناريو مشابه للمخلفات العضوية التى تنتج فى المدن (مثل حمأة المجارى). وإن تحول المراعى والغابات إلى أراضى زراعية لإنتاج محاصيل سنوية يمكن أن يؤدى إلى انطلاق النتروجين العضوى المخزون لمدة قرون طويلة وذلك عبر فترة قصيرة من الزمن نسبيا، وهذا يُزيد احتمال إغناء المياه السطحية والجوفية بالنترات. ويمكن أن يسمح تطوير مناطق الاستجمام بالقرب من أجسام المياه الحساسة، بتسرب النتروجين من خزانات المخلفات الآدمية إلى المياه الجوفية، كما أن التسميد الزائد للأعشاب فى المناطق الحضرية يمكن أن يجعل ماء المطر السارى غنياً بالنترات. ومن الواضح أن التكنولوجيا، والتعليم، والجهود، والنفقات اللازمة لتصميم وتنفيذ التحسينات فى استخدام النتروجين لأى من هذه السيناريوهات هائلة. ولذلك فإن عمل أولويات للخطر أمر له أهمية قصوى.

وفى النهاية، من المهم أيضا أن نعترف بأهمية الزمن اللازم لحلّ المشكلة ؛ فالمياه الجوفية التى تلوثت بالنترات عن طريق ممارسات استخدام الأراضى على مدار ثلاثين عامًا، من المحتمل أن تحتاج إلى عقود عديدة من أجل «تخفيف» النترات إلى تركيزات مقبولة، وذلك عندما يكون الماء الراشح منخفضا فى النترات، وقادمًا من أراضٍ تتلقى ممارسات إدارة محسنة. وهذا يعنى أن تكلفة تخفيض التلوث بالنتروجين

لمياهنا الطبيعية يجب أن يتحملها المجتمع لسنوات كثيرة، وأن الجهود المتكاملة مطلوبة بين جميع الأحزاب وعلى المدى الطويل.

وبالاختصار، عند هذه النقطة من الزمن يجب أن نعترف أن التلوث بالنتروجين قضية بيئية هامة، وبصفة خاصة للمياه الجوفية، ويحتاج حلولاً معقدة طويلة المدى، وسوف يعرض هذا الفصل المكونات الأساسية لدورة النتروجين فى الأراضى، والتى يجب إدارتها بحيث تقل التلوث بالنتروجين.

٤ – ٢ دورة النتروجين فى الأراضى :

تعتبر دورة النتروجين فى الأراضى (شكل ٤ – ٢) جزءاً من دورة النتروجين العالمية، ويمكن النظر إليها على أنها ملخص للتفاعل بين التحولات الكيميائية، والفيزيائية، والبيولوجية التى تحدث للنتروجين فى الأراضى، وحيث إن هذا الفصل يركز على الاهتمامات البيئية المرتبطة بإدارة نتروجين التربة، فإن تفاعلات دورة نتروجين التربة مع أجزاء البيئة الحساسة للتلوث بالنتروجين (المياه الجوفية، المياه السطحية، الغلاف الجوى) سوف يتم إيضاحها. ومن هذا المنطلق، فإن تحولات النتروجين الأساسية عبارة عن: تدوير النتروجين بين صوره العضوية وغير العضوية (**معدنة، تثبيت**)، والفقد الغازى للنتروجين (**تطاير الأمونيا، عكس التأزت**) إلى الهواء الجوى، والفقد المرتبط بحركة الماء (**الغسيل، التعرية**)، **وتثبيت النتروجين البيولوجى**. وكثير من هذه التفاعلات يتم التحكم فيها بواسطة كائنات التربة التى تُغيّر الصورة، وحالات التأكسد، وبالتالى مصير النتروجين بين: نتروجين غازى (N_2)، أكسيد النتروز (N_2O)، الأمونيا/ الأمونيوم (NH_4 /NH_3)، النتريت (NO_2^-)، النترات (NO_3^-). ومن المهم أن نعرف – من وجهة نظر الإدارة – كيف تتغير الأهمية النسبية لهذه التفاعلات مع التربة والظروف البيئية ومتى نستطيع التحكم بدرجة كبيرة فى تفاعل معين. ومع ذلك، سوف لا تعتمد قدرتنا على التحكم فى تحولات النتروجين على بيولوجيا، وكيمياء، وفيزياء العملية فقط، ولكنها تعتمد أيضاً على كثافة واقتصاديات

الإدارة ؛ فالمزارعون الذين يمارسون عملية الرى، على سبيل المثال، يتحكمون بدرجة أكبر فى تحولات النتروجين، على مدار زمن توزيع النتروجين إلى المحاصيل مقارنة بزملائهم القائمين بزراعة الأراضى الجافة، وذلك بسبب قدرتهم على حقن أسمدة النتروجين الذائب فى مياه الرى. وهذا يُحسّن من كفاءة امتصاص النتروجين بواسطة المحاصيل، ويقلل من غسيل النترات. وتستطيع الصناعات المتضمنة فى استصلاح الأراضى أو البلديات الموكول إليها التخلص من حمأة المجارى أن تزيد درجة تصنيع المخلف (مثل تصنيع السماد العضوى «كمبوست» تركيز الجير) استجابةً إلى تنظيم أكبر لاستخدام المخلفات العضوية وعلاقته بالباثوجينات، أو المعادن الثقيلة، أو الملوثات العضوية. وهذه التغيرات فى خواص المخلف يمكن أن تؤثر بدرجة كبيرة فى تحولات النتروجين التى تحدث غالبًا مع إضافة المخلف إلى الأراضى.

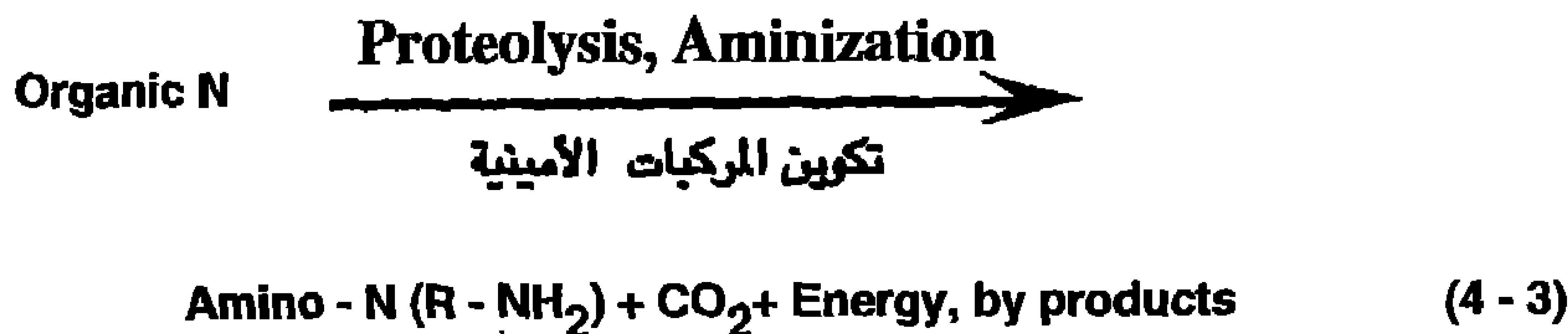
وتبدأ الإدارة البيئية السليمة للنتروجين بالفهم الجيد للمكونات الرئيسية لدورة النتروجين فى التربة. ولقد بُذلت جهود علمية عديدة لدراسة تحولات النتروجين فى الأراضى. والتحدى الذى يواجهنا فى الوقت الحالى هو أن نترجم هذا الكم من المعرفة إلى برامج إدارة عملية تحقق كلا من الأهداف الإنتاجية والبيئية. وفى الأقسام التالية سوف نشرح الأسس الرئيسية الخاصة بكل عملية من تحولات النتروجين، وفى الأقسام التى بعدها سوف نربط التقنيات التى تستخدم لإدارة تحولات النتروجين هذه بالقضايا الزراعية، والحضرية، واستصلاح الأراضى.

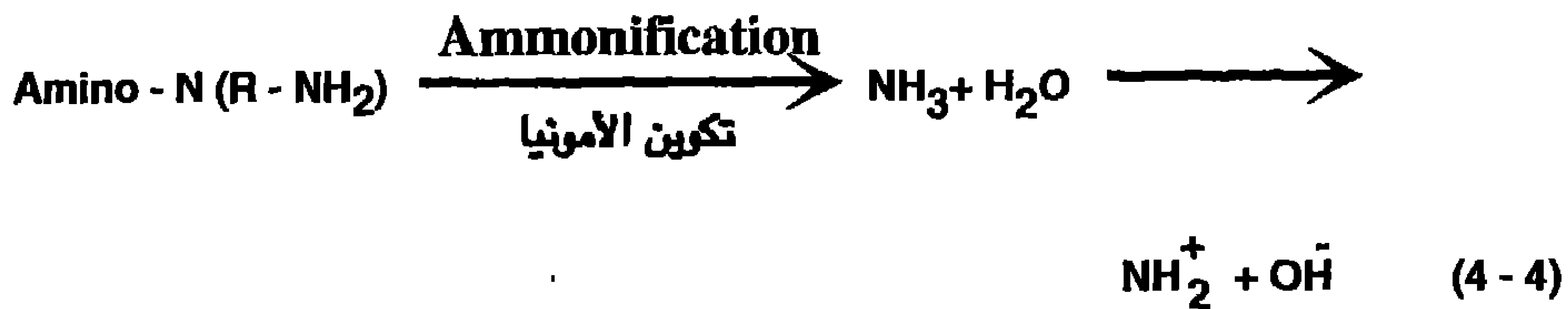
٤ – ٢ – ١ معدنة، وتأزت، وتثبيت النتروجين فى صورة عضوية :

المعدنة :

تشير المعدنة إلى تحول الصور العضوية للنتروجين (مثل: البروتين، الكيتين والسكريات الأمينية من جدران الخلايا الميكروبية، الأحماض النووية) إلى نتروجين غير عضوى مثل النتروجين الأمونيومى (NH_4^+). وقد يكون النتروجين العضوى طبيعيا فى

التربة أو مضافًا إليها حديثا فى هيئة مخلفات محاصيل، أو أسمدة حيوانية، أو مخلفات صرف صحى. وتتم عملية المعدنة فى التربة بواسطة أعداد متنوعة من الكائنات الدقيقة غير المحبة للحرارة (البكتريا، الفطر، الأكتينوميسيتات، كما ذكر فى الفصل الثانى)، التى تنتج مجموعة منوعة واسعة من إنزيمات خارج الخلية قادرة على تحليل البروتينات (البروتونيز، الببتيديز) والمواد غير البروتينية (الكيتينيز، الكينيز) إلى أيون أمونيوم. وتستخدم هذه الميكروبات الطاقة الناتجة من أكسدة المادة العضوية فى التربة لغرض أنشطة البناء، وكذلك تستخدم النتروجين المنطلق خلال عملية التحلل، لتنتج أحماضًا أمينية وبروتينات ضرورية لتكاثرها، ويمكن تلخيص التفاعلات الداخلة فى معدنة النتروجين العضوى إلى أمونيوم غير عضوى كمايلى:





وبمجرد حدوث عملية المعدنة، فإن أيون الأمونيوم يمتص بواسطة النبات، أو يحدث له نترتة (يتحول إلى نترات)، أو يثبت فى صورة عضوية بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة، أو يفقد فى صورة غاز عن طريق تطاير الأمونيا، أو يُمسك فى صورة أيون متبادل بواسطة الطين وغرويات التربة الأخرى، أو يثبت فى الطبقات الداخلية لبعض معادن الطين. وسنناقش كل من الصور سالفة الذكر فى الأقسام التالية.

لقد ثبت أن معدنة النتروجين من المادة العضوية فى التربة تُوفّر جزءًا كبيراً من احتياجات النتروجين لكثير من المحاصيل. ويمكن للنباتات أن تمتص أيون الأمونيوم مباشرة من المحلول الأرضى، وفى الواقع أوضحت دراسات كثيرة أن النباتات تفضل امتصاص أيون الأمونيوم عن المصادر الأخرى للنتروجين (مثل النترات)، ويسمى هذا بالامتصاص التفضيلى. وتتراوح قيم النتروجين الكلى فى الآفاق العلوية لمعظم الأراضى المعدنية من ٠٥ر٠ إلى ١٥ر٠٪. وتحت الظروف الجيدة التهوية، يتمعدن حوالى ١ – ٣٪ من هذا النتروجين العضوى سنويا منتجا ١٥ – ٧٠ كجم نتروجين/ هكتار/ السنة، ويمكن مقارنته نسبيا مع توصيات النتروجين السمادية لكثير من المحاصيل السنوية وهى ٥٠ – ٢٠٠ كجم نتروجين/ هكتار. والاستخدام الطويل للأسمدة الحيوانية أو محاصيل الدورة البقولية مثل البرسيم الحجازى يزيد بدرجة كبيرة كمية النتروجين العضوى القابل للتمعدن فى الأراضى. وكما ناقشنا فى القسم ٤ – ٤ فإنه يمكن أن يؤدى هذا إلى انخفاض ملحوظ فى احتياجات سماد النتروجين، وهذا اعتبار مهم سواءً من وجهة النظر الاقتصادية أو وجهة النظر البيئية. ويعتبر توقيت معدنة النتروجين بالنسبة إلى توقيت امتصاص النبات للنتروجين مُهمًا تمامًا مثل كمية النتروجين المتمعدن. ولقد أوضحت معظم الدراسات أنه تحت الظروف المثلى، تتبع معدنة النتروجين نظام الخط المنحني، كما أوضحنا فى شكل (٤ – ٣أ). ويمكن وصف **كمية النتروجين العضوى القابل للتمعدن** فى الأراضى (N_o)، ومعدل معدنة النتروجين (K) باستخدام معادلة كينيتيكية بسيطة من الدرجة الأولى، وهى تُحَدّد علاقة التغير فى النتروجين المتمعدن (N_m) فى التربة بالزمن (dN_m/dt) مع كمية النتروجين العضوى القابل للتمعدن (N_o) كما يلى:

$$dN_m / dt = K (N_o) \qquad (4 - 5)$$

ويمكن أن تستخدم النتائج المتحصل عليها من دراسات التحضين المعملية، والتى تقيس كمية الأمونيوم والنترات المغسولة أو المستخلصة من التربة عند فترات زمنية مختلفة (N_m, t)، مع الصورة التكاملية لهذه المعادلة – لتقدير قيم K, N_o لأنواع

مختلفة من الأراضى، أو تستخدم كدالة لآفاق قطاع التربة، أو لتغيير ظروف التربة الكيميائية والبيئية (رقم الحموضة، درجة الحرارة، الرطوبة)؛ أو كدالة لتأثرها بالتغيرات طويلة المدى فى نتروجين التربة الناتجة عن عمليات الحرث المختلفة، أو الأسمدة المعدنية، أو المخلفات العضوية. وحسابيا، إذا كانت K, N_o معروفة، فإن كمية النتروجين المعدنى فى التربة بعد فترة زمنية محددة يمكن التنبؤ بها كمايلى:

$$N_m = N_o (1 - e^{-kt}) \quad (4 - 6)$$

ولقد أوضحت بعض الأبحاث أن النموذج المعتمد على نوعين من مصادر النتروجين N_o (N_s , N_r) حيث :

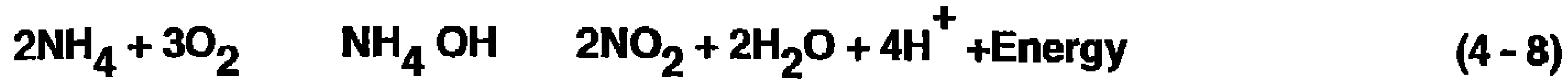
N_r = النتروجين العضوى القابل للتحلل بسرعة،

N_s = النتروجين العضوى القابل للتحلل ببطء ، – يمكنه أن يصف نتائج دراسات معدنة النتروجين بطريقة أفضل، وخاصة فى الأراضى المعالجة بالمخلفات العضوية (شكل ٤ – ٣ ب).

$$N_m = N_r (1 - e^{-ht}) + N_s (1 - e^{-kt}) \quad (4 - 7)$$

النترتة أو التأزت:

وهى تحول أيون الأمونيوم إلى نتريت (NO_2^-)وبعدئذ إلى نترات (NO_3^-) بفعل بكتريا ذاتية التغذية محللة للمواد الكيماوية، وهى بكتريا هوائية حتماً؛ أى تحصل هذه البكتريا على الكربون من ثانى أكسيد الكربون أو الكربونات، وعلى الطاقة من أكسدة الأمونيوم أو النتريت. وبصفة أولية، فإن بكتريا النتروزوموناس، أو النتروزبيرا، أو النتروزوكوكس تؤكسد الأمونيوم إلى هيدروكسيل أمين (NH_2OH)؛ وبعد ذلك ومن خلال عدة مركبات وسطية عديدة غير معروفة جيدا، تتحول إلى نتريت. وهناك علامتان دالتان لهذه الخطوة وهما: التغير فى حالة أكسدة النتروجين من (– ٣) إلى (+٣)، وتحميض التربة بواسطة أيونات الهيدروجين التى تنتج عندما يتأكسد أيون الأمونيوم، طبقا للتفاعل التالى:



$$2NH_4 + 3O_2 \quad NH_4OH \quad 2NO_2 + 2H_2O + 4H^+ + Energy \qquad (4-8)$$

وفى التفاعل القادم تقوم بكتريا النتروباكتر أو النتروزبيرا، أو النتروكوكس بالاستمرار فى عملية الأكسدة، وتحول النتريت إلى نترات وتتغير حالة تأكسد النتروجين من (+٣) إلى (+٥)، كما يلى:



$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + Energy \qquad (4-9)$$

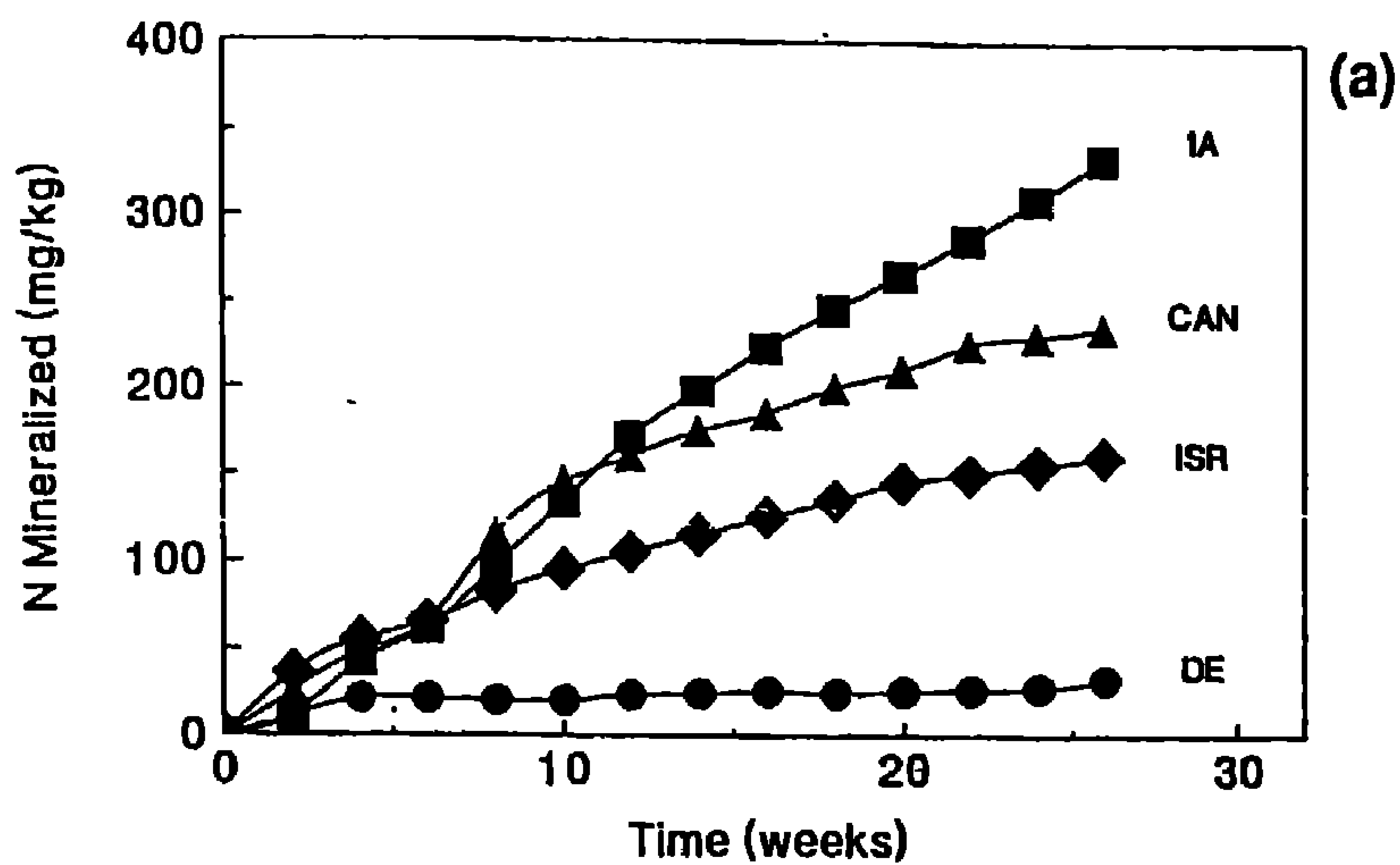
وتستخدم النترات بعدئذ مباشرة بواسطة النباتات أو الكائنات الدقيقة فى التربة، أو تفقد من منطقة الجذور عن طريق عمليات عكس التأزت، أو الغسيل، أو الانجراف مع ماء المطر السارى (القسم ٤ – ٢ – ٢ والقسم ٤ – ٢ – ٣). وفى معظم الأراضى، فإن عملية النترتة سريعة، وحركة النترات أكبر بكثير جدا من حركة الأمونيوم. ولقد أُنتجت مثبطات كيميائية لعملية النترتة بهدف تأخير عملية التحول، ولقد أثبتت فعاليتها فى دراسات معملية عديدة، ولكن حتى الآن، فالأبحاث الحقلية على فعالية واقتصادية مثبطات النترتة بالنسبة للأسمدة والمخلفات العضوية لم تعط نتائج حاسمة. ويوضح قسم ٤ – ٤ – ٢ خواص واستخدام بعض مثبطات النترتة.

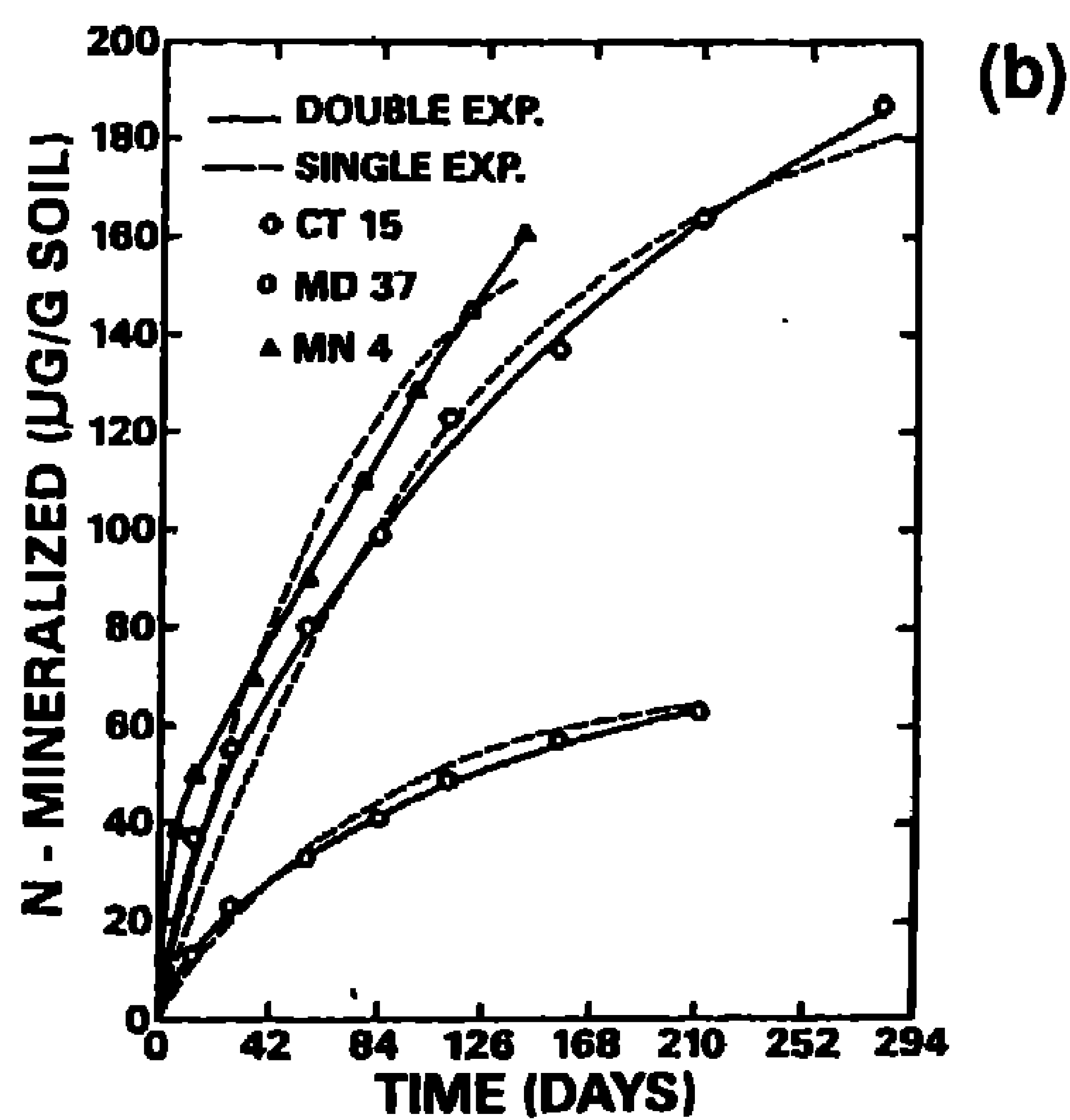
التثبيت فى صورة عضوية :

وهو عكس المعدنة ويشمل تمثيل النتروجين غير العضوى (NH_3 NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة، وتحول هذه الصور المعدنية للنتروجين إلى مركبات عضوية خلال عمليات بناء ونمو الميكروبات. ويمكن النظر أيضا إلى امتصاص النبات على أنه صورة من صور التثبيت هذه، ويجب أن يفهم أن التحكم فى المنافسة بين النباتات والكائنات الدقيقة فى التربة للحصول على النتروجين غير العضوى فى التربة يعتبر بنداً مهماً من إدارة نتروجين التربة، وحيث إن عملية التثبيت هذه تمثل تكوين مركبات عضوية نتروجينية، فإنها سوف تتأثر كثيراً بدرجة تيسر الكربون اللازم لإنتاج الأحماض الأمينية والبروتينات. وفى حالة تواجد

كمية كافية من الكربون الميسر فى التربة، مقارنة بالنتروجين غير العضوى، ينشط النمو الميكروبى وكذلك استهلاك النتروجين الذائب، وهذا يشجع تحول النتروجين الذائب إلى نتروجين حيوى، وتوجد أكثر من نسبة مناسبة من الكربون الميسر إلى النتروجين الميسر تؤدى إلى زيادة من أيون الأمونيوم أو النترات فى التربة عن الاحتياجات الميكروبية. وإن نسبة الكربون: النتروجين (C/N) للمادة العضوية الأصلية أو المضافة، جنبًا إلى جنب مع الظروف البيئية التى تنظم النمو الميكروبى، تتحكم فى كمية النتروجين غير العضوى الميسر لامتصاص النبات أو المطلوب لأغراض أخرى (كالغسيل، عكس التأزت)؛ فالمادة العضوية الثابتة فى التربة لها نسبة (كربون : نتروجين) تتراوح من ١٠ : ١ إلى ١٢ : ١، فى حين أن كائنات التربة تتراوح النسبة فيها من ٥ : ١ إلى ٨ : ١. وينتج عن معدنة المادة العضوية فى التربة كميات كافية من الكربون والنتروجين اللازمة للكائنات الدقيقة فى التربة، وكما قلنا سابقا، توفر أيضا كميات قليلة إلى متوسطة من النتروجين الميسر لامتصاص النبات.

وتؤدى إضافة مُحسّنات عضوية، لها نسب C/N مختلفة، للأراضى إلى حدوث تغيرات معنوية فى كمية النتروجين غير العضوى فى التربة الميسر للنبات، يمكن التنبؤ بها بدرجة معقولة، كما أوضحت ذلك نتائج ثمان دراسات عن معدنة النتروجين من بقايا المحاصيل لها نسب N : C تتراوح من ٨ : ١ إلى ٨٠ : ١ (شكل ٤ – ٤أ) وتستخدم فى الغالب نسبة N:C ذات القيمة ٢٥ : ١ (المادة العضوية حوالى ٤٠٪ C، ٦ر١٪ N) على أنها النسبة التى عندها تتعادل عمليتى المعدنة والتثبيت فى صورة عضوية. وتؤدى إضافة مواد لها نسب N : C واسعة (أكبر من ٣٠ : ١) (مثل: القش، نشارة الخشب، السماد العضوى الذى أصله حمأة المجارى) إلى حدوث زيادة سريعة فى نمو الميكروبات واستنفاد النتروجين الميسر فى التربة إلى النقطة التى يحدث عندها نقص فى النتروجين فى نباتات كثيرة. وعلى العكس من ذلك، فبعض المحسنات العضوية (مثل حمأة المجارى، وسماد الدواجن)، وهى لها نسب N : C منخفضة، وتنتج كميات كبيرة وزائدة من النتروجين الذائب، وهذه ينبغى أن تتم إدارتها بعناية وحرص





شكل ٤ - ٣ (a) نماذج معدنة النتروجين فى أراضى مختلفة.

(b) مقارنة النماذج الأحادية والمتعددة للظروف التى تشجع معدنة النتروجين فى تربة محسنة بالحمأة.

a) Ellert and Bettany, 1988 (Canada),: Hadas et al., 1983 (Israel) , Sallade and Sims, 1992 (Delaware), Chae and Tabatabai, 1986 (Iowa).

b) Deans et al., 1986.

شديد، وذلك لتلافى فقد النتروجين وتسربه إلى مناطق حساسة من البيئة. ويعتبر تصنيع السماد العضوى وسيلة فعالة لثبات النتروجين فى المخلفات العضوية سريعة القابلية للمعدنة، كما هو موضح فى شكل ٤ – ٤ب. ولذلك، فالأمر يتطلب حرصًا شديداً فى تغذية النبات بالنتروجين وبالأخص عند استخدام الأسمدة العضوية الصناعية، ومع ذلك، تُظهر، فى الغالب، الأراضى المحسنة بالأسمدة العضوية الصناعية فترة أولية لتثبيت النتروجين فى صورة عضوية، وبعدها يحدث انطلاق للنتروجين ببطء أكثر من المعدل اللازم للكثير من النباتات الحولية. ولاتظل نسبةC : N للمادة العضوية المضافة ثابتة خلال عملية التحلل، حيث أن الكربون الناتج من التنفس الميكروبى يتطاير من التربة فى صورة ثانى أكسيد كربون. ومع الوقت، وبناء على ذلك، تنخفض نسبة C : N إلى المستوى الذى تسود فيه عملية المعدنة، ويتوافر بالتربة نتروجين ميسر لامتصاص النبات مرة أخرى.

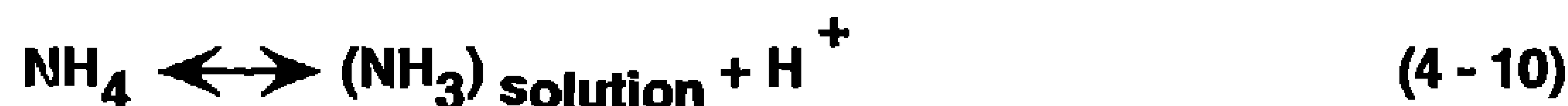
وبالأخذ فى الاعتبار أهمية الكائنات الدقيقة فى التربة فى تفاعلات المعدنة، والنترتة، والتثبيت فى الصورة العضوية، يتضح أن الإدارة السليمة لنتروجين التربة – وخاصة من المصادر العضوية (بقايا المحاصيل، الأسمدة الحيوانية، الحمأة) – تتطلب فهم التربة، وكذلك فهم العوامل البيئية التى يمكن أن تؤثر فى نشاط الكائنات الدقيقة وتتحكم فى هذه التفاعلات. ولقد اتضح أن جميع العوامل التى تؤثر فى النشاط البيولوجى (درجة الحرارة، الرطوبة، التهوية، رقم الحموضة) تؤثر أيضًا فى معدل ودرجة هذه التحولات الثلاثة للنتروجين. ولقد تم تحديد الظروف المثلى لكل تحول، وهى تختلف بدرجة بسيطة فيما بين تفاعلات المعدنة – التثبيت فى صورة عضوية وتفاعلات النترتة. وبسبب مشاركة أصناف كثيرة من الكائنات فى تحولات المعدنة والتثبيت فى الصورة العضوية، فإن هذه العمليات أقل حساسية نوعا ما لتغير الظروف البيئية مقارنة بعملية النترتة. وعلى سبيل المثال، وعلى عكس عملية النترتة، تكون عملية المعدنة سريعة تحت الظروف اللاهوائية وعند مدى واسع من درجات الحرارة. وهذا يمكن أن يؤدى إلى تجمع أو تراكم لأيون الأمونيوم فى الأراضى المغمورة حيث تتوقف عملية النترتة بسبب النقص فى الأكسجين، أو تحت نظم أراضى ذات درجات حرارة متطرفة (أقل من ٥°م ، وأعلى من ٤٠°م). وبالنسبة للمعدنة والتثبيت فى الصورة العضوية،

فقد أوضحت الدراسات أن الظروف المثلى تتحقق عند درجة حرارة من ٤٠ – ٦٠°م، ولها Q_{10} (التغير فى معدل التفاعل عندما تزداد درجة الحرارة ١٠°م) حوالى ٠ ر٢، ومحتوى الرطوبة فى التربة من ٥٠ – ٧٥٪ من سعة حفظ التربة للماء، بالرغم من أن النسبة المثلى الفعلية للرطوبة تختلف حسب قوام التربة (جدول ٤ – ٢). وفيما يخص النترتة، فإن ظروفها المثلى هى: درجة حرارة من ٣٠ – ٣٥°م، ونسبة رطوبة من ٥٠ – ٦٧٪ من سعة حفظ التربة للماء، ورقم حموضة pH بين ٦ر٦ – ٠ر٨ . والبكتريا التى تقوم بعملية النترتة حساسة لحموضة التربة الزائدة، كما يقل نشاطها بوضوح عندما يكون رقم حموضة التربة أقل من ٠ ر٥. ولقد لوحظ إنتاج النترات فى أراضى المناجم عالية الحموضة، وفى أراضى الغابات، ومن هذا نستنتج أن بعض ميكروبات النترتة قد تأقلمت مع الظروف غير الملائمة من رقم الحموضة pH.

٤ – ٢ – ٢ الفقد الغازى للنتروجين: تطاير الأمونيا وعكس التأزت:

تطاير الأمونيا:

تشير إلى فقد الأمونيا NH_3 من التربة فى صورة غاز، وعادة يرتبط ذلك بالتركيزات العالية للأمونيا الحرة فى محلول التربة ورقم حموضة التربة العالى. وتؤدى الإضافات السطحية للأسمدة الأمونيومية أو المخلفات العضوية سهلة التحلل (مثل: الأسمدة الحيوانية، الحمأة) للأراضى إلى فقد معقول للنتروجين عن طريق تطاير الأمونيا، وبخاصة إذا كانت التربة (أو المخلف العضوى) قاعدية فى طبيعتها. ويمكن تلخيص هذا التفاعل والعوامل الكبيرة المؤثرة فى قيمة ومعدل (d [NH_3] /dt) فقد النتروجين عن طريق التطاير كما يلى:

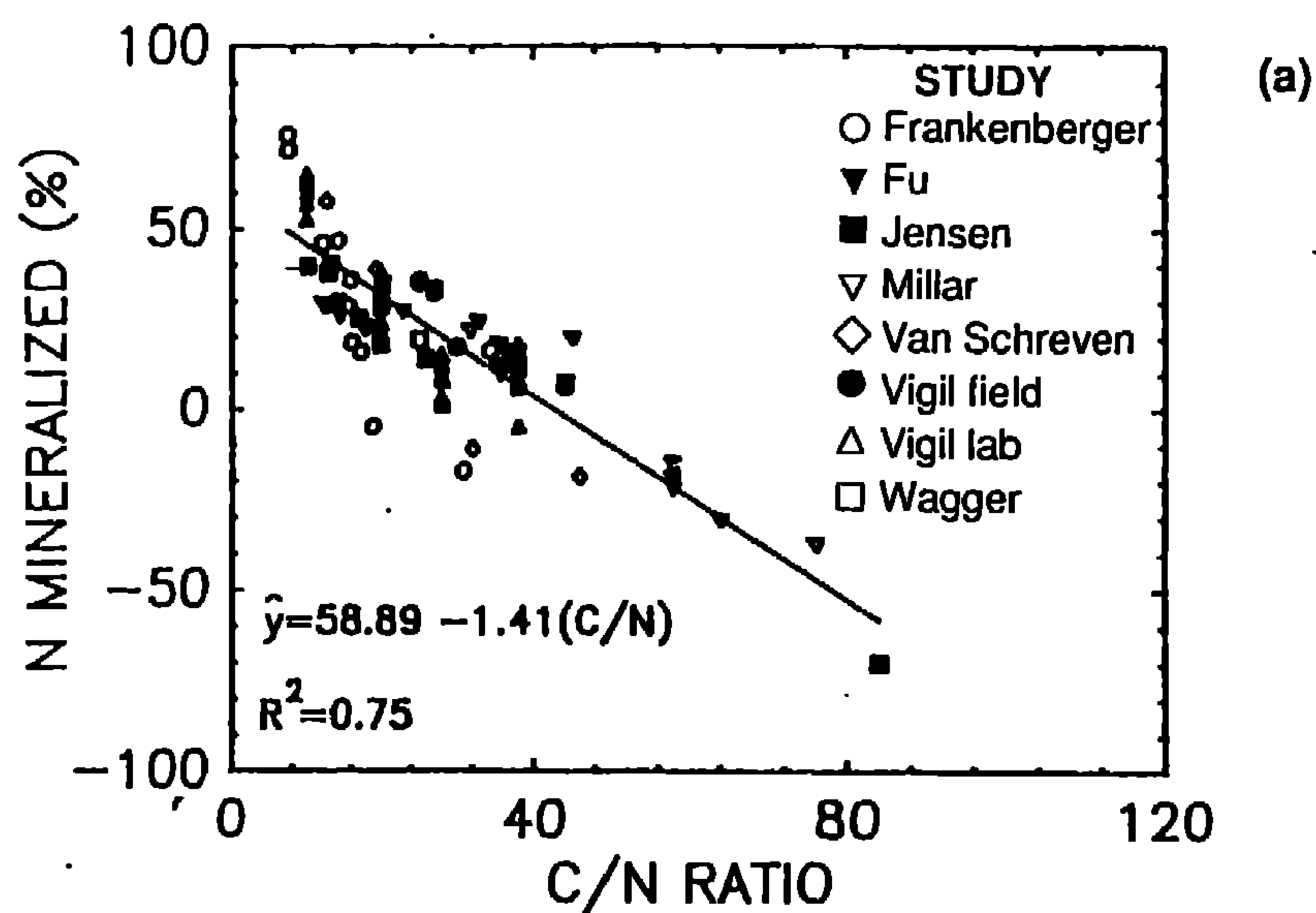


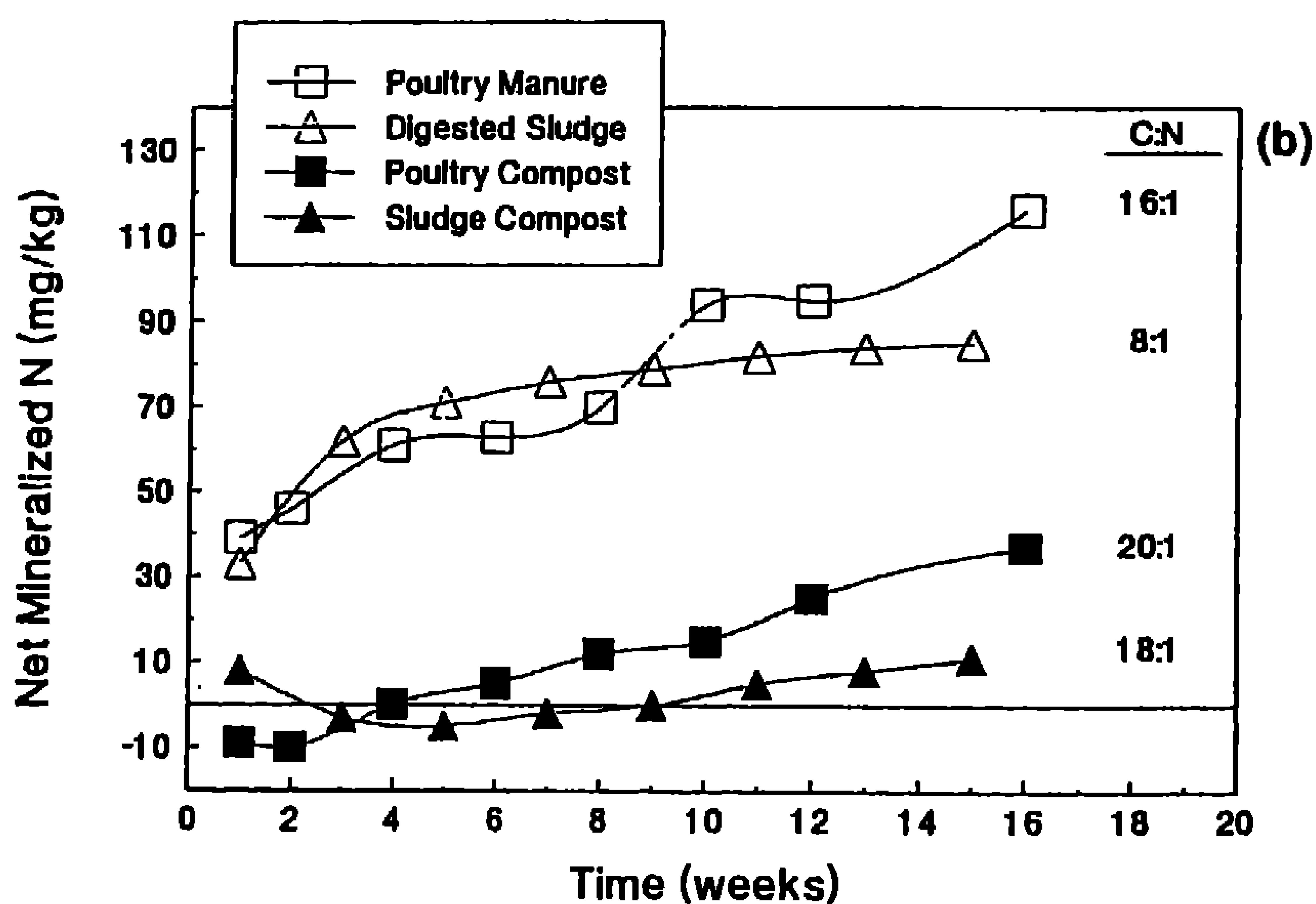
$$NH_4 \longleftrightarrow (NH_3)_{solution} + H^{+} \qquad (4-10)$$



$$(NH_3)_{solution} \longleftrightarrow (NH_3)_{gas} \qquad (4-11)$$

$$\frac{d\,[NH_3]}{dt} = [A] \times [K] \times [P_1 - P_g] \qquad (4-12)$$





شكل ٤ – ٤ (أ) تأثير نسبة الكربون: النتروجين فى بقايا النباتات على معدنة النتروجين.
(ب) تأثير السماد العضوى المصنع من حمأة المجارى المنشطة أو من مخلفات الدواجن على معدنة النتروجين.

a) (Vigil and Kissel, 1991.)　　b) (Epestein et al., 1978 and Sims et al., 1992.)

جدول ٤ – ٢ تأثير درجة حرارة التربة ونسبة الرطوبة فيها على معدنة النتروجين.

درجة حرارة التربة ٥م	ثابت معدل معدنة النتروجين / أسبوع ؛ K	
	المدى (١١ تربة)	المتوسط
٥	٠٫٠٠٧ ——— ٠٫٠١٥	٠٫٠٠٩
١٥	٠٫٠١٠ ——— ٠٫٠٢٢	٠٫٠١٤
٢٥	٠٫٠١٩ ——— ٠٫٠٤٧	٠٫٠٢٩
٣٥	٠٫٠٤٤ ——— ٠٫٠٧١	٠٫٠٥٥

الشد الرطوبى فى التربة (Mpa)	النتروجين الكلى المتمعدن عند ٣٥ ٥م مجم / كجم	
	طمى رملى ناعم	طمى إلى طمى طينى
٠٫٠١	٣٩	٧١
٠٫٠٣	٣٦	٦٧
٠٫٢٠	٢٩	٥٠
١٫٥٠	٢٦	٤٣
رطوبة التربة المثلى مقدرة (٪)	١٣	٢٨

بالنسبة للحرارة : Stanford et al., 1973.

بالنسبة للرطوبة : Stanford and Epstein, 1974.

حيث :

$d[NH_3]/t$ = فقد الأمونيا عند زمن t.

A = مساحة السطح البينى للتربة والمحلول.

K = معامل التحول الكتلى، دالة لسرعة الهواء فوق التربة ودرجة حرارة كل من الهواء والتربة.

P_1 = الضغط الجزئى للأمونيا فى المحلول الأرضى.

P_g = الضغط الجزئى للأمونيا فى الهواء فوق المحلول الأرضى.

يمثل التطاير كلا من فقد العنصر الغذائى للنبات والتأثير البيئى الضار للنتروجين، حيث أوضحت الدراسات أن المناطق القريبة من المياه السطحية يمكن أن تكون غنية بالأمونيا المتطايرة من مساحات تتركز بها مخلفات عضوية (مثل: مزارع الإنتاج الحيوانى، أحواض تجميع الأسمدة الحيوانية). وكما ذكرنا سابقًا فإن العوامل الأساسية فى تطاير الأمونيا من الأراضى هى تلك العوامل التى تؤثر فى:

(١) تحول الغاز بين المحلول الأرضى والهواء الجوى (مساحة السطح البينى للمحلول – والهواء الجوى، سرعة الهواء على سطح التربة).

(٢) المعدل العام للتفاعل الكيميائى (درجة الحرارة، الضغط الجزئى للأمونيا فى كل من الطورين). وتشمل عوامل التربة والإدارة التى تتحكم فى شقّىْ تطاير الأمونيا: درجة حرارة التربة ونسبة الرطوبة بها وقوامها؛ طبيعة مصدر النتروجين، طرق إضافة الأسمدة أو المخلفات العضوية (مثل النثر على السطح ، الحقن ، الدمج مع التربة). وتشمل الظروف المصاحبة لأعظم فقد لتطاير الأمونيا: إضافات الأسمدة أو المخلفات العضوية على السطح، رقم الحموضة العالى أو الأراضى الجيرية، الأراضى التى لها سعة تبادلية كاتيونية منخفضة حيث تكون قدرتها ضئيلة على ادمصاص وتثبيت كاتيون الأمونيوم، البيئة الدافئة ذات الرطوبة الخفيفة. وبصفة عامة، فإن أكفأ طريقة لتقليل فقد الأمونيا بالتطاير هى دمج مصدر النتروجين فى

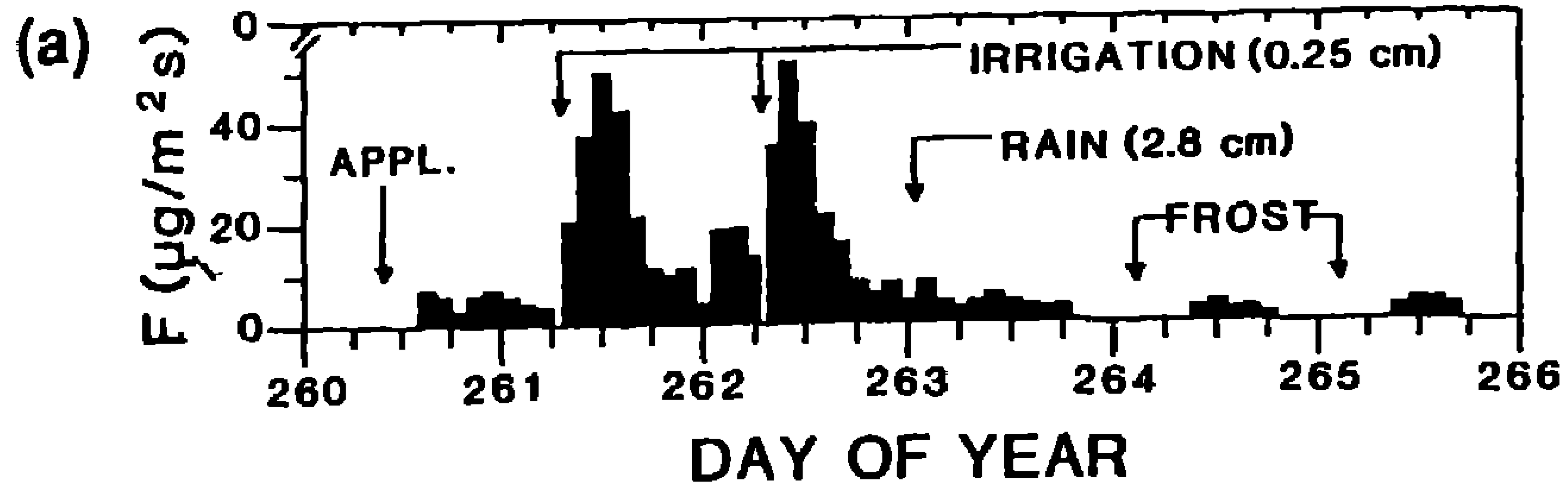
التـربة بـواسطة الحـرث، أو الحـقن، أو الرى – خـلال وقت الإضـافـة أو أثنـاء وقت سقوط المطر الطبيعى (كما هو موضح فى شكل ٤ – ٥ وجدول ٤ – ٣). وبمجرد دمج مصدر النتروجين مع التربة يحدث جذب إلكتروستاتيكى لأيون الأمونيوم إلى مواقع التبادل الكاتيونية على معادن الطين والمادة العضوية، وهذا بالتالى يقلل فقد الأمونيا. ويمثل التطاير مشكلة خاصة بالنسبة للمراعى، ومناطق الأعشاب، ومناطق الزراعة بدون حرث ؛ حيث تُعدُّ الإضافات السطحية للأسمدة المعدنية والمواد العضوية ضرورية.

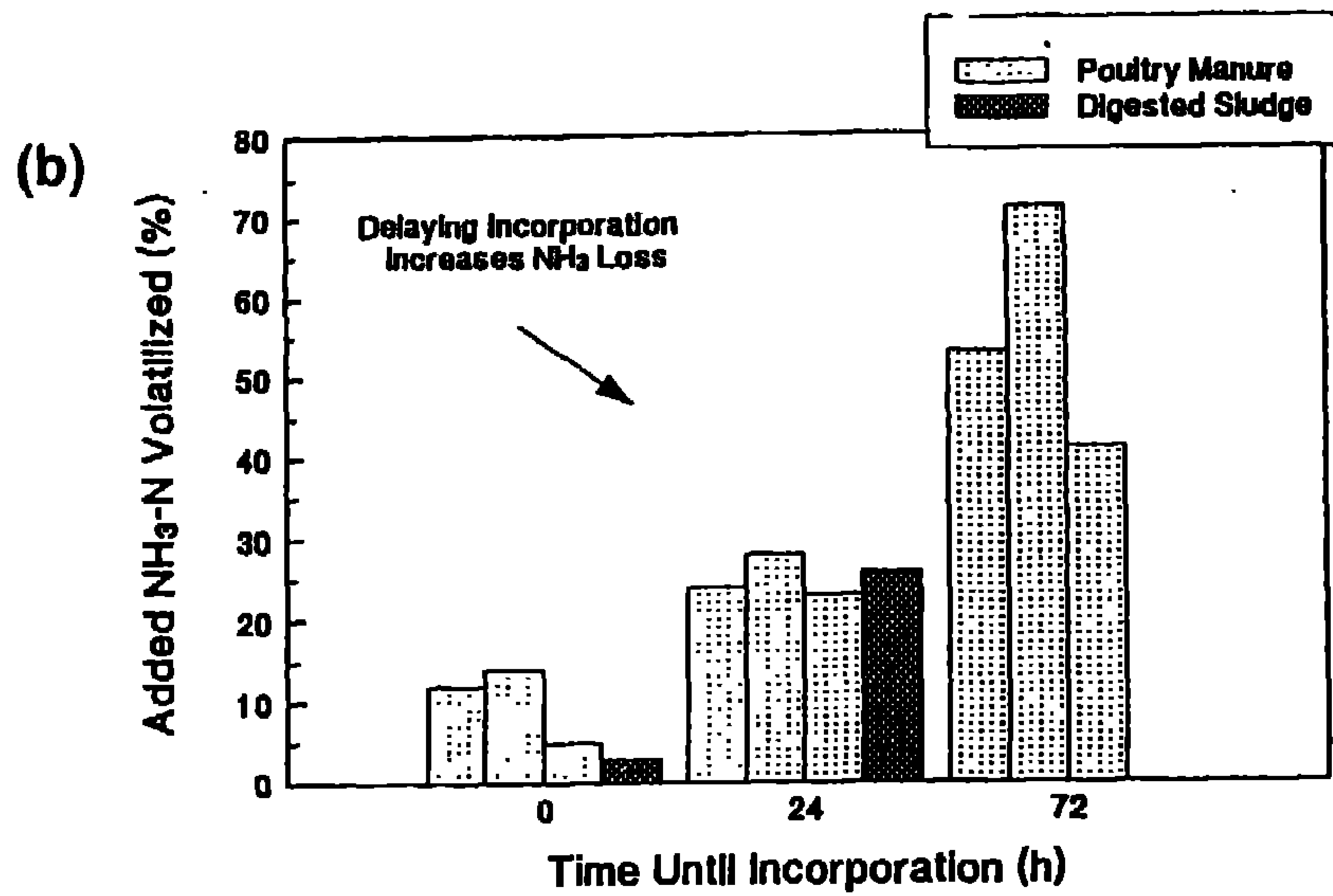
وتمثل أسمدة اليوريا $[CO(NH_2)_2]$ وحمض اليوريك الموجود فى الأسمدة الحيوانية والمخلفات العضوية الأخرى حالة خاصة لتطاير الأمونيا. فعندما تضاف اليوريا إلى التربة يحدث لها تحلل عن طريق تفاعل يتم إسراعه بواسطة إنزيم اليوريز (يوريا أميدو هيدروليز)، كما هو موضح:



$$CO(NH_2)_2 + H_2O \xrightarrow{Urease} (NH_4)_2CO_3 \text{ (unstable)} \rightarrow CO_2 + 2\,NH_3 \qquad (4 - 13)$$

وينتج أنزيم اليوريز بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة التى تشترك فى تحلل المادة العضوية فى التربة، وبقايا المحاصيل، والمواد العضوية الأخرى. ويقوم أنزيم اليوريز بالتحلل المائى السريع لروابط $C - NH_2$ الموجودة فى جزئ اليوريا. ويؤدى التكوين السريع لمحلول عالى التركيز من أيونات الأمونيوم فى البيئة المصغرة المحيطة والمجاورة لحبيبات اليوريا إلى زيادة رقم الحموضة إلى حوالى ٥ ر٨، وهذا يشجع بدرجة كبيرة تطاير الأمونيا. ولقد تم إنتاج وتطوير مثبطات كيميائية لإنزيم اليوريز، وذلك لتقليل معدل التحلل المائى لليوريا، ويقل، كنتيجة لذلك، الخطر الناتج من فقد النتروجين عن طريق تطاير الأمونيا.





شكل ٤ – ٥ (أ) تطاير الأمونيا من اليوريا المضافة إلى سطح تربة عارية رطبة. يؤدى المعدل المنخفض للرى (٢٥ر٠سم) إلى نوبان اليوريا، ومن ثمّ يبدأ فقد الأمونيا (F). ويؤدى سقوط المطر بمعدل ٢٫٨ سم إلى غسيل الأمونيا فى الأراضى، كما يتناقص بوضوح معدل التطاير.

(McInnes et al., 1986.)

(ب) تأثير الزمن بين إضافة سماد الدواجن وحمأة المجارى المهضومة على فقد الأمونيا من الأراضى.

(Donovan and Logan, 1983; Gartley and Sims, 1993.)

جدول ٤ – ٣ تأثير طرق الإضافة والأمطار على محصول القمح؛ حيث استخدمت أسمدة الأمونيا المتطايرة (يوريا – أمونيوم – نترات ، اليوريا).

مصدر النتروجين	طريقة الاضافة	معدل الإضافة كجم N / هكتار			المتوسط
		٩٠	١٨٠	٢٧٠	
		المحصول، ميجاجم/هكتار			
UAN	نثرا بالرش	٥ر٦	٦ر٨	٧ر٢	٦ر٥
	فى خطوط سطحية	٧ر٤	٨ر٣	٨ر٧	٨ر١
	الدمج فى خطوط	٧ر٩	٨ر٨	٨ر٧	٨ر٥
مصدر النتروجين	الأمطار الساقطة	معدل إضافة النتروجين كجم / هكتار			المتوسط
		٥٠	١٠١	٢٠٢	
نترات أمونيوم	٢٥مم فى خلال	١٠ر١	١١ر٣	١١ر٦	١١ر٠
يوريا	٣٦ ساعة إضافة.	١٠ر٤	١١ر٧	١١ر٢	١١ر١
نترات أمونيوم	لا شئ لمدة ٣ أيام	٨ر٨	١٠ر٧	١١ر١	١٠ر٢
يوريا	بعدئذ ٣ مم.	٨ر٥	٩ر٢	١٠ر٤	٩ر٤

لاحظ أنه فى دراسة تأثير المطر تمثل نترات الأمونيوم مصدراً ثابتا للنتروجين، واحتمال التطاير لها ضئيلة.

(Touchton and Hargove, 1982; Fax and Hoffman, 1981.)

عكس التأزت:

تعرف بأنها اختزال النترات NO_3^- إلى صور غازية للنتروجين (NO , N_2O , N_2) بواسطة بكتريا ذاتية التغذية محللة للمواد الكيماوية، كما يلى:



$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \qquad (4 - 14)$$

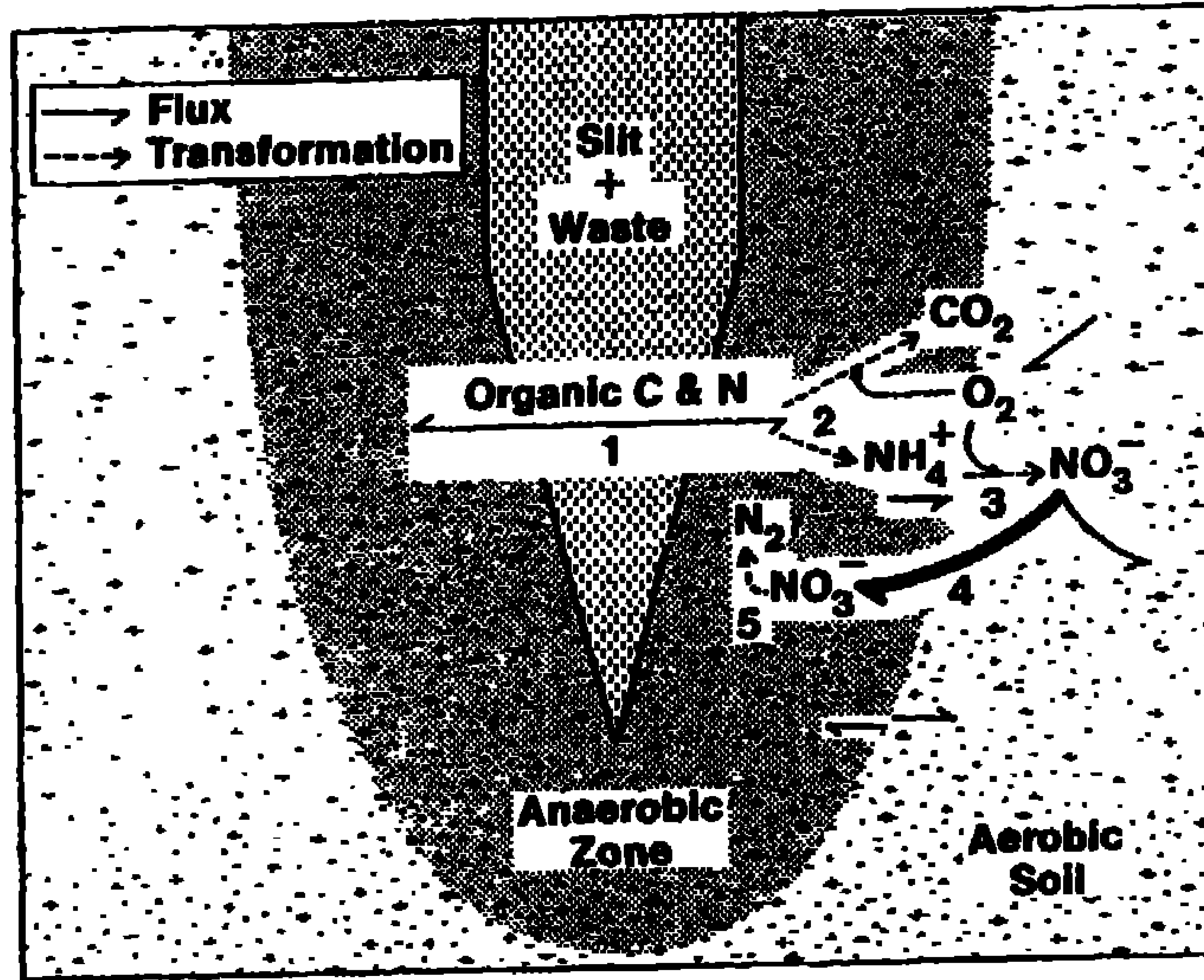
nitrate　nitrite　nitric oxide　nitrous oxide　dinitrogen

والبكتريا المسئولة عن عملية عكس التأزت عادة هوائية، ولكن تحت الظروف اللاهوائية يمكن أن تستخدم النترات كبديل للأكسجين كمستقبل للإلكترونات الناتجة أثناء عملية تحلل المادة العضوية. وعن طريق عملية عكس التأزت، يختزل النتروجين من حالة التأكسد (+٥) فى NO_3^- إلى (صفر) فى N_2. وتعتبر العوامل الحرجة المنظمة لمعدل عملية عكس التأزت ودوامها فى الأراضى هى درجة تيسر النترات (المادة الخاضعة لفعل البكتريا) والكربون (مصدر الطاقة والإلكترونات) وغياب الأكسجين، ولكى تحدث عملية عكس النترتة، فإن التربة يجب أن تُنتج أولا أو تُحسّن بالنترات، وبعدئذ تدخل مرحلة اللاهوائية. وعلى العكس تماماً، فيمكن تثبيط عملية عكس النترتة بواسطة أى عملية توقف إنتاج النترات (أى تبطئ عملية النترتة)، أو تشجع إزالة النترات (كالغسيل، امتصاص النبات)، أو تشجع الظروف الهوائية (مثل : الصرف الصناعى، استنفاذ رطوبة التربة بواسطة النبات).

ونظرا لأن النترات فى الأصل تنتج عن طريق عملية النترتة، وهى عملية هوائية، فإن الظروف الأكثر ملاءمة (المساعدة) لحدوث عملية عكس النترتة هى تلك التى تشمل: دورات هوائية وغير هوائية متعاقبة، أو مناطق هوائية وغير هوائية متلاصقة. وتقوم الأراضى التى تغمر بصفة دورية أو التى فيها ظروف لا هوائية مؤقتة بسبب الأمطار

الغزيرة، بتجميع كمية كبيرة من النترات خلال الفترة الهوائية، وهذه تفقد عن طريق عملية عكس النترتة خلال دورة الظروف اللاهوائية التالية. وينتج عن الاستهلاك السريع للأكسجين بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة خلال عملية تحلل المادة العضوية؛ مناطق لا هوائية ملاصقة لمساحات هوائية تُنتج فيها النترات. وعندما تتحرك النترات فى المنطقة اللاهوائية عن طريق الانتشار أو الانسياب الكتلى، يحدث لها عملية عكس النترتة، كما هو موضح فى شكل ٤ – ٦ لتربة استقبلت مخلفات صيدلية وحقنت (أى دفنت) فى شقوقها. ومن الأمثلة الشائعة لهذه المناطق اللاهوائية: المواقع الصغيرة فى الريزوسفير والغنية بإفرازات الجذور، والرواسب المحلية لبقايا المحاصيل القابلة للتحلل بدرجة كبيرة، والمخلفات العضوية المحقونة (أى المدفونة) فى أحجام صغيرة نسبيا من التربة. وتشمل الأمثلة البيئية للأراضى اللاهوائية أيضا: منطقة الأرض المبتلة الملاصقة لحقل زراعى، أو ربما المنطقة المبتلة صناعيا المستخدمة لمعالجة مياه المجارى (شكل ٤ – ٧). وفى هذه الحالة، فإن كمية كبيرة من النترات الناتجة فى أرض الحقل الهوائى تتحرك بالغسيل أو الانسياب الجانبى فى النظام البيئى للأرض المبتلة التى تسود فيها أراضى مغمورة، وظروف هوائية، وكميات كبيرة من الكربون الميسر، ثم تُزال النترات بعدئذ من مياه الصرف بواسطة عملية عكس النترتة.

وتؤثر أيضًا درجة حرارة التربة، ورقم الحموضة فى عملية عكس النترتة. وبالرغم من إمكانية حدوث عملية عكس النترتة عند درجات حرارة بين ٢، ٧٥°م، فإن درجة الحرارة المثلى هى ٣٠°م. وتؤثر درجة حرارة التربة فى معدل البناء الميكروبى، وأيضا فى العمليات الكيميائية مثل معدل انتشار الأكسجين، والنترات، وأكسيد النتروز، والنتروجين فى ماء التربة والهواء الجوى. على أن أنسب رقم حموضة لعملية عكس النترتة يتراوح من ٠ ر٦ إلى ٠ ر٨، ولكن كما هو الحال مع عملية النترتة، فإن عملية عكس النترتة قد تمَّ قياسها أيضاً فى أراضى عالية الحموضة.



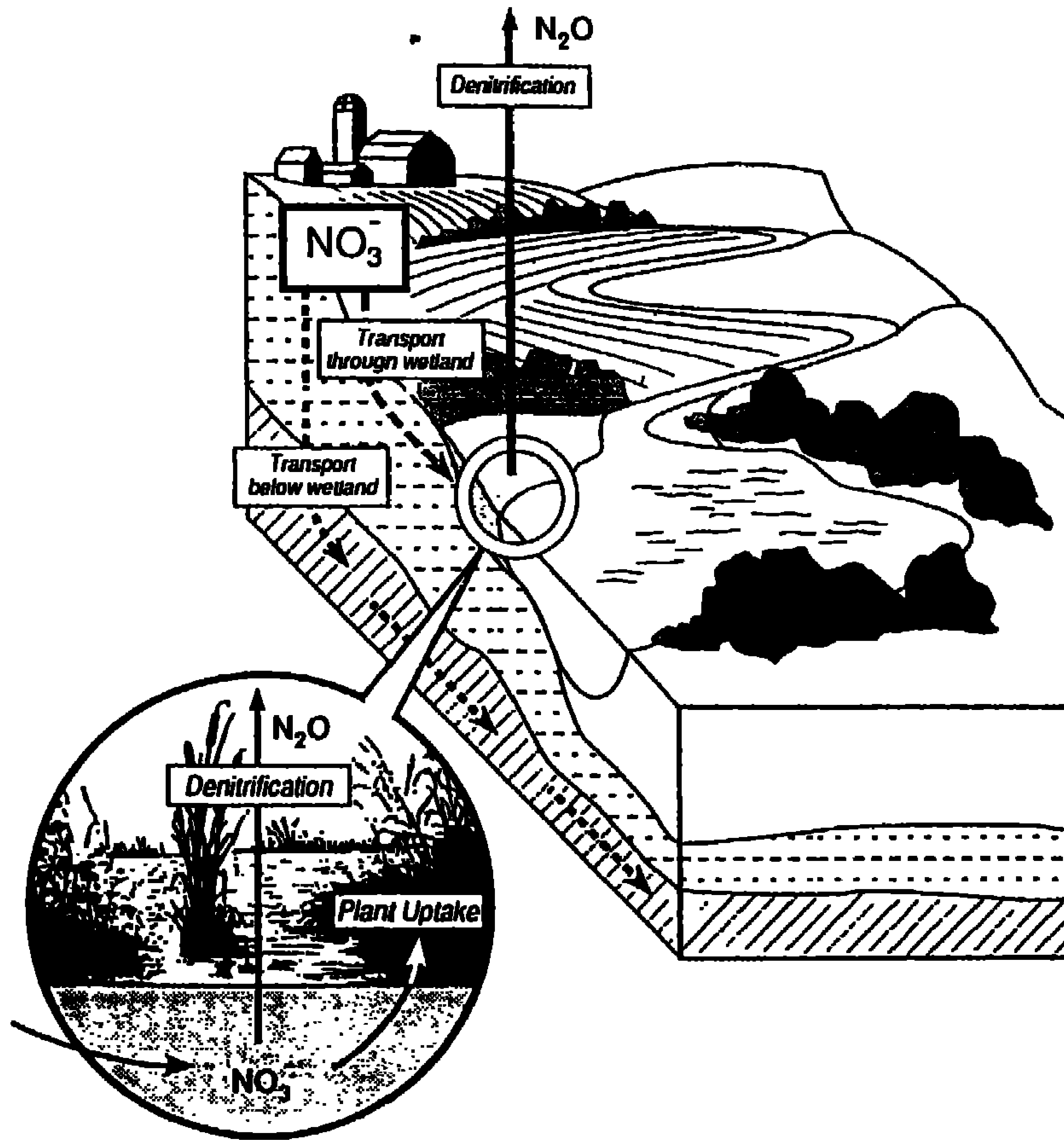
شكل ٤ – ٦ عملية عكس التأزت الناتجة عن حقن مخلفات صيدلية قابلة للتحلل بدرجة عالية، وإن وجود كربون ميسر بوفرة ينشط استهلاك الأكسجين، مما يؤدى إلى تكوين منطقة لاهوائية ملاصقة للمنطقة الهوائية حيث تحدث عملية التأزت للنتروجين المتمعدن من المخلف.

(Rice et al. 1988.)

٤ – ٢ – ٣ فقد النتروجين بالغسيل والإزالة :

يمكن أن ينتقل النتروجين من الأراضى إلى المياه الجوفية والمياه السطحية عن طريق **الغسيل، أو الإزالة بالرياح أو مع ماء المطر (أو الثلج الذائب) السارى فوق سطح الأرض**. ويحدث فقد النتروجين بالغسيل، أساسًا، فى صورة نترات وذلك بسبب انخفاض سعة معظم الأراضى للاحتفاظ بالأنيونات. وبصفة عامة، فإن أى حركة لأسفل للماء فى القطاع الأرضى تسبب غسيل النترات، ويتناسب مقدار فقد النتروجين طرديا مع تركيز النترات فى المحلول الأرضى ومع حجم ماء الغسيل. وتعتبر عملية غسيل النترات غير مرغوبة اقتصاديا وبيئيا؛ فالنترات التى تتحرك بالغسيل تحت

منطقة جذور المحصول تمثل فقداً لعنصر غذائى مفيد للنبات، وكما ذكر سابقا يمكنها أن تساهم فى تلوث المياه الجوفية فى الطبقات الصخرية الحاملة لها، وكذلك فى حدوث ظاهرة التشبع الغذائى للمياه السطحية، كما هو موضح فى شكل ٤ – ٨. ولقد اتجهت معظم الأبحاث التى أجريت باستخدام الأسمدة المعدنية، والأسمدة الحيوانية،



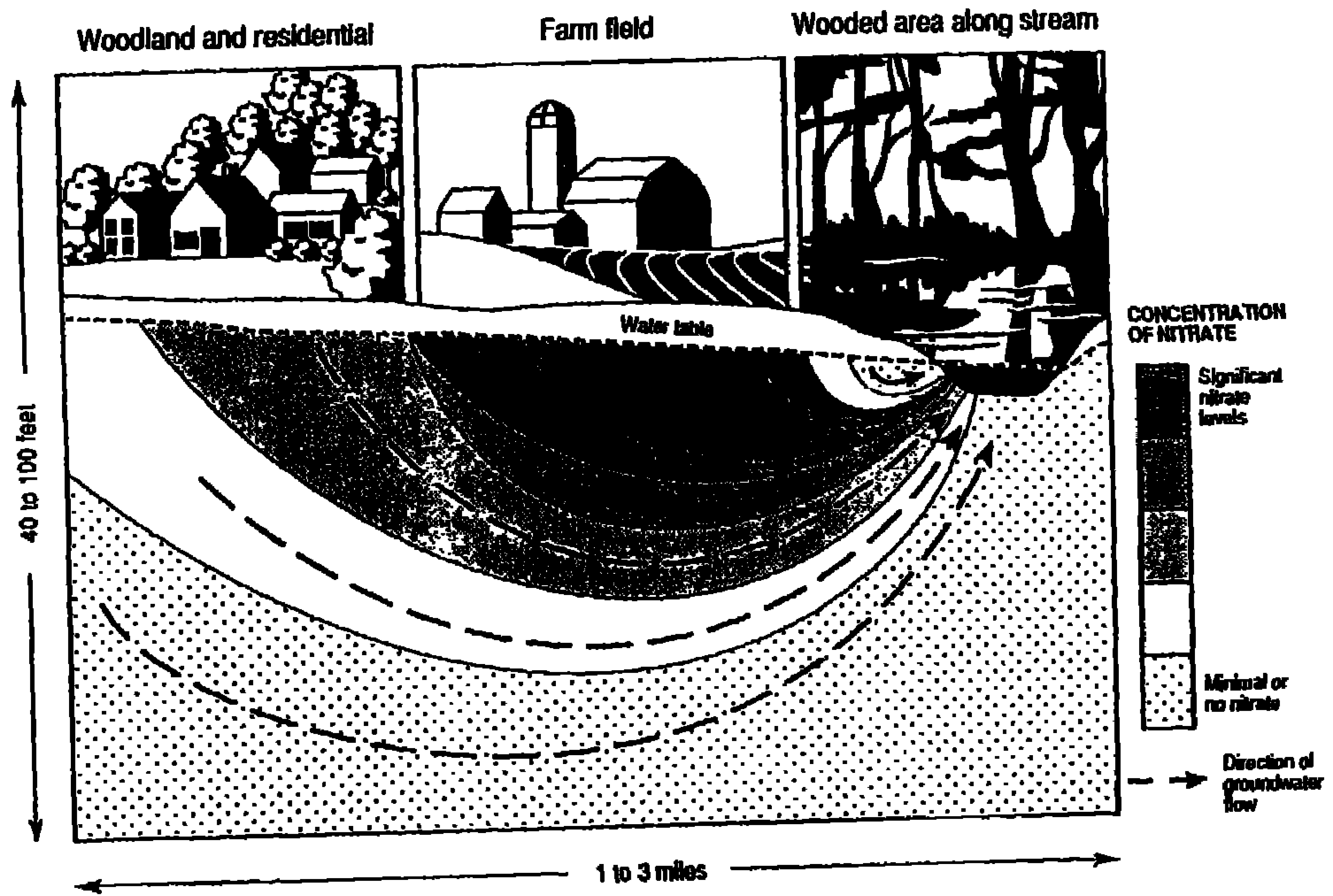
شكل ٤ – ٧ الأراضى الرطبة كمناطق حدوث عملية عكس التأزت؛ وتعتبر قادرة على إزالة النترات من مياه الأمطار السارية من الحقول الزراعية وكذلك من مياه الصرف تحت السطحى لهذه الحقول.

والمنتجات الثانوية الأخرى (مثل حمأة المجارى) - نحو تقليل غسيل النترات، خاصة فى المناطق الرطبة. ومع ذلك، لا يمثل تلوث المياه الجوفية بالنترات مشكلة عالمية، وهو فى الغالب، ذو طبيعة محلية أو على مستوى المنطقة، كما هو موضح فى شكل ٤ - ٩.

وتشمل الحالات المناسبة لحدوث غسيل النترات وتلوث المياه الجوفية الأراضى الرملية جيدة الصرف والتى لها مستوى ماء أرضى ضحل، وذلك فى المناطق التى تستقبل أمطارًا غزيرة أو ريًا مكثفًا مع استخدام متكرر للأسمدة المعدنية، أو الأسمدة الحيوانية، أو مصادر نتروجين أخرى. ومع ذلك، لا يقتصر غسيل النترات على الحالات السابقة فحسب، ولكنه يشمل أيضًا أى حالة تتم فيها إضافات زائدة للنتروجين، ومناطق تخزين المخلفات العضوية (مثل: الحظائر، وأحواض تجميع المخلفات الحيوانية)، ومناطق الرى الكثيف، وجميعها لها القدرة على أن تسبب غسيلاً معنوياً للنترات، بصرف النظر عن نوع التربة والمناخ. وإن الاحتفاظ الكيميائى (الادمصاص والتثبيت) للنترات فى قطاع التربة - على عكس الأنيونات الأخرى (الفوسفات، الكبريتات) - له تأثير ضئيل فى تقليل الغسيل، بالرغم من أن بعض طبقات تحت سطح التربة عالية الحموضة ثبت أن لها سعة تبادلية أنيونية معنوية. وقد تقلل عملية عكس النترتة فى المياه الجوفية أو مناطق تصريف المياه الجوفية (مثل الأراضى الرطبة) من فقد النتروجين بالغسيل. كما أن حدوث عملية عكس النترتة فى طبقات تحت سطح التربة له فى الغالب تأثير ضئيل فى تقليل غسيل النترات، وذلك بسبب انخفاض مستويات الكربون الميسر فى معظم طبقات تحت سطح التربة. وفى أى حالة، وبمعرفة التأثيرات الجوية لأكاسيد النتروجين، فإن تقنيات الإدارة المصممة للتحكم فى الغسيل عن طريق تشجيع عملية عكس النترتة ينبغى أن تفحص بعناية. وبناء على ذلك فالأساليب التى تقلل غسيل النترات إلى أدنى مستوى، هى أساليب عملية فى طبيعتها وتركز على التحكم فى توقيت تكوين النترات فى الأراضى، وتشمل أيضا فهم ظروف كل من التربة والمناخ للمنطقة وكذلك تشمل فهم نماذج امتصاص النتروجين بواسطة المحاصيل الشائعة النمو. وسوف نناقش هذه الأساليب بتفصيل أكبر فى القسم ٤ -٤ لهذا الفصل.

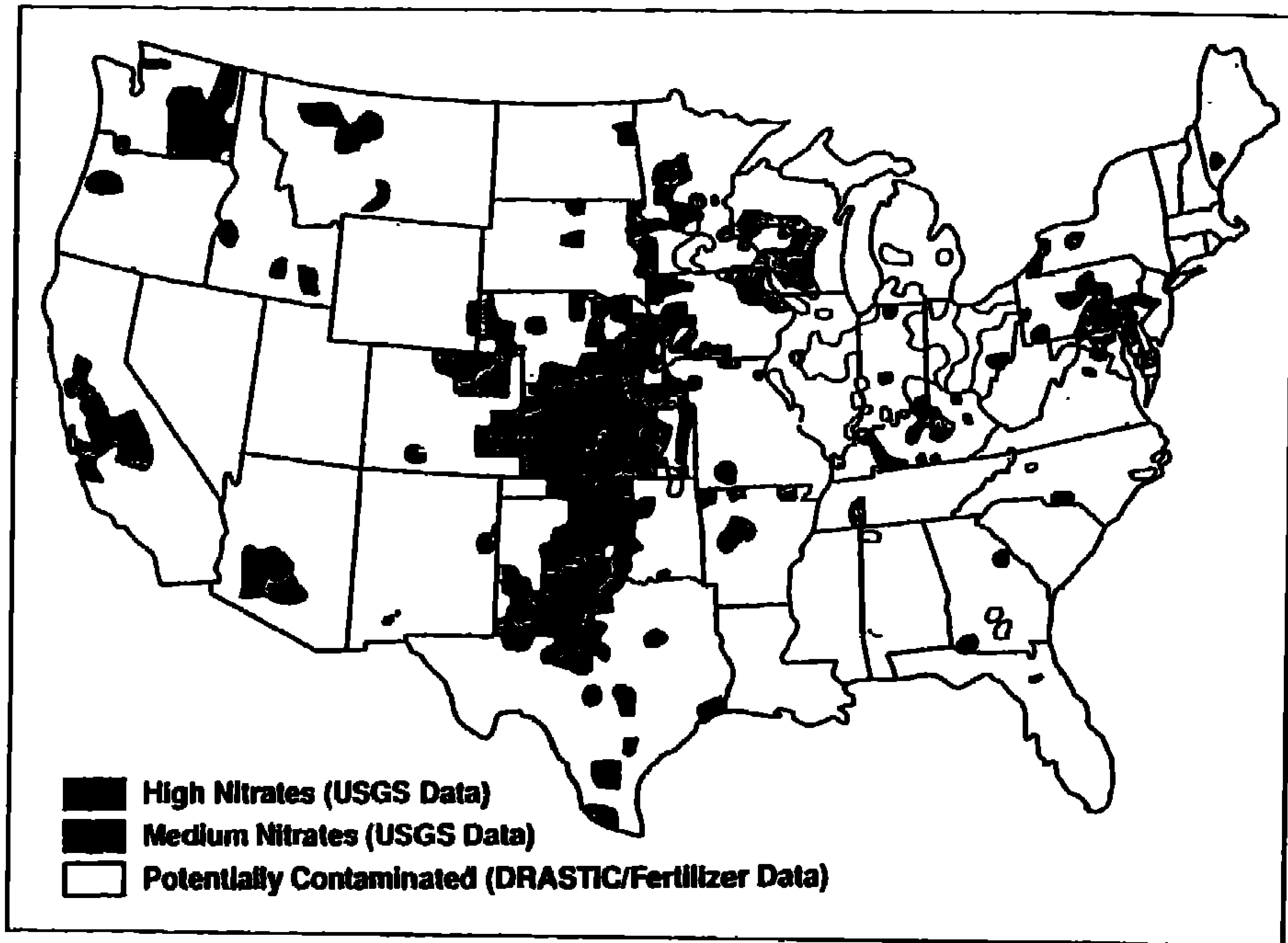
السحل / التعرية / الإزالة/ الانجراف :

تشير هذه العملية إلى انتقال التربة من الحقل بواسطة الرياح أو المياه، ويُعبّر ماء المطر السارى على السطح عن الماء المفقود من الحقل عندما يزيد معدّل الترسيب عن قدرة الرشح للتربة. وتقوم كل من العمليتين بنقل النتروجين غير العضوى الذائب والنتروجين العضوى إلى المياه السطحية، وتشارك فى عملية التشبع الغذائى أو تلوث مياه الشرب. وأوضحت كثير من الدراسات التى عملت على أماكن تجمع الأمطار أن معظم النتروجين المفقود عن طريق الإزالة بالمياه أو بواسطة ماء المطر السارى على السطح، عبارة عن نتروجين عضوى مرتبط بالرواسب. وبالرغم من أن ذوبان النترات



شكل ٤ – ٨ منظر عام يمثل انتقال النترات فى الصخور المائية الحاملة للمياه الجوفية، وهو يوضح اختلاف تركيز النترات تبعا لاستغلال الأرض، وعمق الطبقة الصخرية، والمسافة إلى منطقة التصريف.

(Hamilton and Shedlock, 1992.)



شكل ٤ – ٩ احتمال تلوث المياه الجوفية بالنترات فى الولايات المتحدة، وهو يوضح الطبيعة الإقليمية للمشكلة.

(Nielsen and Lee, 1987.)

فى صالح فقدها فى ماء المطر السارى على سطح الأرض، وذلك عكس انتقال الرواسب، فإن فقد النتروجين الكلى، كما أوضحته الدراسات التى عملت على أماكن تجمع مياه الأمطار، عادة مايكون أكبر من النتروجين الذائب بعدة أضعاف.

وتعتبر الإضافات السطحية للمخلفات العضوية غير مرغوبة، وذلك لأنها تزيد احتمال فقد النتروجين الذائب والعضوى عن طريق الإزالة وماء المطر السارى على السطح. وهذه الطريقة للإضافة غير مسموح باتباعها مع مخلفات الصرف الصحى والمخلفات الصناعية، ومع ذلك ففى العمليات الزراعية، نجد أن ممارسات صيانة الأراضى، المصممة لغرض منع التعرية عن طريق تقليل الحرث، يمكن أن تسمح بإضافة الأسمدة الحيوانية إلى سطح التربة. ويمكن أن تحدث أيضا الإضافات

السطحية للأسمدة الحيوانية عندما يضيف المزارعون هذه الأسمدة خلال شهور فصل الشتاء، حيث تكون التربة مجمدة وأقل حساسية للتدمير بالآلات أو للانجراف، وعندما يتيسر الوقت لذلك. وتستخدم الممرات المائية المزروعة بالأعشاب أو الأحزمة الخضراء على الحدود التى تحبس الرواسب وتجمع النتروجين الذائب فى كتلتها الحيوية، لكى تساعد فى تقليل فقد النتروجين فى مثل هذه الحالات، كما هو موضح فى جدول (٤ – ٤) حيث أمكن لشريط من بقايا عيدان الذرة بعرض ٧ر٢ متر وغطاء أرضى ٥٠٪ تخفيض الرواسب وكذلك تخفيض فقد النتروجين الكلى بحوالى ٧٠ – ٨٠٪.

٤ – ٢ – ٤ التثبيت الحيوى للنتروجين:

التثبيت الحيوى للنتروجين هو تحول النتروجين الجوى إلى صورة عضوية للنتروجين إما من خلال الارتباط التكافلى بين النباتات والكائنات الدقيقة أو من خلال علاقة حرة بواسطة الكائنات الحية الحرة مثل السيانو باكتريا (طحلب أخضر مزرق) وبعض البكتريا عضوية التغذية. وفى الحديث عن دورة النتروجين العالمية، يمثل التثبيت الحيوى للنتروجين أكبر مُدخل (مصدر) للنتروجين إلى الأراضى.

ويمكن أن يحدث التثبيت التكافلى للنتروجين بين النباتات البقولية والبكتريا، وبين النباتات غير البقولية والأكتينوميستات، وفى بعض التجمعات المشتركة من الطحلب والنبات. والميزة العامة لهذا التكافل هو قدرة كائن تثبيت النتروجين أن يختزل، إنزيميا، النتروجين N_2 إلى أمونيا NH_3 فى وجود مصدر طاقة (التمثيل الضوئى) يوفره المضيف. ومن وجهة النظر الزراعية، فإن أهم نوع لتثبيت النتروجين التكافلى هو الذى يحدث بين النباتات البقولية والبكتريا من جنس الريزوبيوم والبرادى ريزوبيوم. وبالرغم من أننا سوف نركز على تثبيت النتروجين بواسطة البقوليات فى هذا الفصل، فيجب أن نذكر أن قدرة النباتات غير البقولية على تثبيت النتروجين الجوى تُعتبر متساوية فى الأهمية بالنسبة للأنظمة غير الزراعية وبعض المحاصيل المعينة. وكمثال غير بقولى، هناك تثبيت للنتروجين ينتج عن علاقة تكافلية بين الأكتينوميسيتات للجنس فرانكيا وأصناف عديدة من الأشجار والشجيرات الخشبية، وهى مهمة فى عملية تكوين الأراضى، وفى إعادة تخضير أراضى الغابات المفككة والسهلة الإنجراف، وهى مهمة

أيضا كمصادر لأخشاب الوقود. ومثال آخر غير بقولى، مثال زراعى لتثبيت النتروجين التكافلى هو الارتباط بين السيانوبكتيريا من جنس أنابينا ونبات الأزولا؛ وهو نبات سرخسي يطفو على سطح المياه العذبة، وينتشر بكثرة فى المناطق الاستوائية المغمورة التى تستخدم فى إنتاج الأرز. وتوجد بكتريا أنابينا على سيقان وأوراق نبات الأزولا، وعلى عكس الرزوبيوم أو الفرانكيا، لا تحوّل النتروجين مباشرة إلى نتروجين عضوى داخل النبات. فتنتج بكتريا أنابينا أمونيوماً ذائباً، وهذا يمتص بواسطة جذور نباتات الأزولا النامية فى الماء أو فى الجزء العلوى من الرواسب فى حقول الأرز. وهذا النتروجين المثبت يمكن أن يستخدم مباشرة بواسطة الأرز عندما تموت حشائش الأزولا ويتمعدن النتروجين العضوى؛ وفى بعض البلدان يتم حصاد حشائش الأزولا وتستخدم كغذاء للحيوان أو كسماد عضوى.

جدول ٤ – ٤ استخدام أحزمة من بقايا النباتات لتقليل فقد النتروجين من أرض عارية ولها انحدار ٥٪ بواسطة الإزالة ومياه الأمطار السارية.

عرض الحزام، التغطية بالمخلفات ، نسبة الرطوبة السابقة	الحزام الداخل			الحزام الخارج		
	الرواسب*	الماء السارى*	N الكلى**	الرواسب*	الماء السارى*	N الكلى**
٨ر١م ، ٢٧٪ غطاء:						
جاف	٥ر٩	١٧١	٥ر٢٢	٠ر٦	٢٤٤	٥ر١٦
رطب جدا	٦ر١٦	٣٢٠	٩ر٣١	٣ر١٤	٣٧٣	٢ر٢٨
٧ر٢م ، ٥٠٪ غطاء:						
جاف	٧ر٢٢	٢٨٤	٣ر٤٥	٩ر٤	٢٨٠	١ر١٤
رطب جدا	٠ر٢٤	٣٨٦	٤ر٣٩	٩ر٤	٤٦٢	٠ر١٣

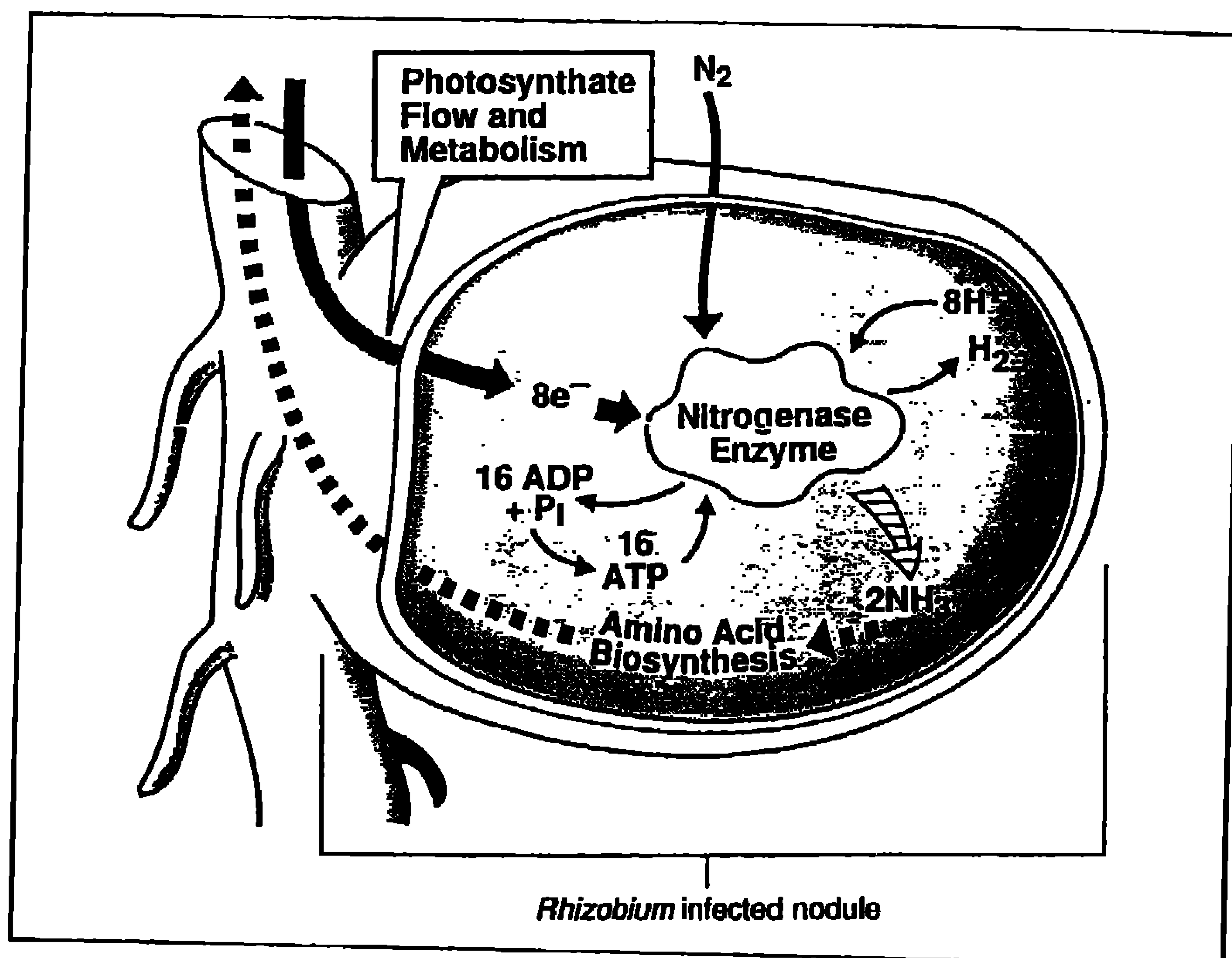
* كجم / ساعة / م عرض.

** جم / ساعة / م عرض.

Alberts et al. 1981.

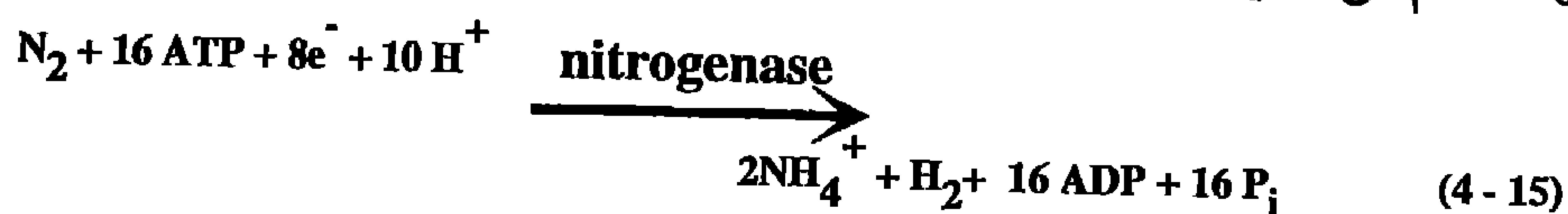
لقد ظلّت النباتات البقولية لعدة قرون مكونات مهمة فى نظم إنتاج المحاصيل، وهى تمثل الطريق الرئيسى لتحول النتروجين الجوى إلى نتروجين تربة، وبعدئذ إلى صورة يمكن أن يستخدمها الإنسان والحيوان. ويوجد أكثر من ١٤ ألف صنف معروف من النباتات البقولية، ومن بينها أكثر من مائة صنف يشيع استخدامها فى الزراعة. وبالإضافة إلى قيمتها المباشرة كمحاصيل غذائية، فإن بعض البقوليات تزرع بمفردها كغطاء للتربة؛ وذلك لكى توفر النتروجين للمحصول غير البقولى التالى (مثل البرسيم أو البيقة ويليه الذرة). وسوف نناقش المسائل البيئية المتعلقة بالبقوليات بتفصيل أكبر فى قسم ٤ – ٤ – ٢، وهى مشابهة للمسائل الخاصة بالمصادر العضوية الأخرى للنتروجين، وتركز، بصفة أولية، على إدارة نتروجين النبات البقولى، وذلك لكى نتحاشى غسيل النترات، والتعرية بواسطة سريان ماء المطر، وعكس النترتة.

وتبدأ عملية التثبيت التكافلى للنتروجين بواسطة البقوليات عندما تقوم البكتريا الموجودة فى التربة بالقرب من جذور النبات العائل (المضيف) بلصق نفسها على خلايا الشعيرات الجذرية، وبفعلها هذا فإنها تُحدث تجعيداً للشعيرة الجذرية حول البكتريا، ثم تنتج البكتريا بعد ذلك خيطًا (يسمى خيط العدوى) يجتاح الخلية الجذرية، ويسمح باختراق البكتريا وتكاثرها داخل لحاء أو قشرة الجذر. واستجابة لهذا الغزو البكتيرى، يقوم النبات بتخليق عقدة صغيرة، وهى بناء وقائى يحيط بالبكتريا التى غيّرت شكلها الطبيعى حاليا وكذلك وظيفتها البنائية، ويشار إليها حاليا بالبكتيرويد (شكل ٤ – ١٠). وتعتبر علاقة البكتريا بالنبات المضيف علاقة نوعية تماماً، وهذا يعنى أن أى أصناف معينة من الريزوبيوم أو البرادى ريزوبيوم سوف لا تصيب بالعدوى، أو تكوّن عقداً مع، أى نباتات مضيفة غير متوافقة معها، ويمكن مقارنة العقدة بأعضاء النبات الأخرى التى تقوم بتحويل الطاقة، كما تمتلك غشاءً ينظم دخول وخروج المواد الغذائية من وإلى الباكتيرويد. وفى تفاعل تثبيت النتروجين يستخدم الباكتيرويد الطاقة المستمدة من التمثيل الضوئى (ATP، والإلكترونات)، والأكسجين، وإنزيم متخصص هو



شكل ٤ – ١٠ رسم تخطيطى يوضح شكل ووظيفة الباكتيرويد فى العقد الجذرية للنبات البقولى.

النتروجينيز، لتقليل تحول N_2 إلى NH_4^+ التى تنطلق فى خلايا النبات المضيف وتستخدم فى تخليق الأحماض الأمينية. وتصبح معادلة تثبيت النتروجين كما يلى:



$$N_2 + 16\,ATP + 8e^- + 10\,H^+ \xrightarrow{\text{nitrogenase}} 2NH_4^+ + H_2 + 16\,ADP + 16\,P_i \qquad (4-15)$$

ولكل تجمع من البكتريا والنبات المضيف قدرته الوراثية الخاصة بتثبيت النتروجين. فلأى تكافل معلوم، فإن الكمية الفعلية للنتروجين المثبت تعتمد، بصفة أولية، على نتروجين التربة الميسر وحالة الطاقة للنبات؛ وهذه بالتالى تتأثر بعوامل أخرى مثل: وفرة الكربوهيدرات، وشدة الضوء، وحالة العنصر الغذائى فى التربة، ودرجة حرارة التربة، والرطوبة. ويوضح جدول (٤ – ٥) أمثلة للبقوليات الهامة زراعيا والكميات المقدرة للنتروجين المثبت تحت ظروف مثالية.

وعموما، فالعوامل البيئية المهمة فى تثبيت النتروجين تشمل: رقم حموضة تربة (قريب من التعادل)، وفرة العناصر الغذائية الأساسية (Co, Mo, Fe, Ca, K, P)، درجة الحرارة المثلى والرطوبة (تختلف طبقا للنبات المضيف)، تهوية كافية، مستوى منخفض من نتروجين التربة الميسر (أمونيوم، نترات). ومن المهم أن نتذكر أنه حتى تحت الظروف المثالية، فإن البقوليات لا تحصل على جميع ماتحتاجه من النتروجين من

جدول ٤ – ٥ المحاصيل البقولية الرئيسية الشائعة فى الزراعة وتقديرات النتروجين المثبت سنويا.

المحصول	البكتريا المثبتة للنتروجين	N_2 المثبت سنويا	
		المدى كجم/هكتار/ سنة	القيمة النموذجية كجم/هكتار/ سنة
النبات المضيف:	ريزوبيوم (R) :		
البرسيم الحجازى	R. meliloti	٦٠ —— ٥٠٠	٢٢٥
البرسيم	R. trifolii	٦٠ —— ٣٥٠	١١٥
البسلة، البيقة	R. leguminosarum	٩٠ —— ١٨٠	١٠٠
الفول	R. phaseoli	٢٠ —— ١٠٠	٤٥
النبات المضيف:	برادى ريزوبيوم (B) :		
الترمس	B. lupini	١٥٠ —— ١٧٠	١٦٠
فول الصويا	B. japanicum	٦٥ —— ٢٠٠	١٠٠
اللوبيا	B. parasoniae	٦٥ —— ١٣٠	١٠٠

لاحظ أن الريزوبيوم بكتريا تكافلية سريعة النمو؛ بينما برادى ريزوبيوم بطيئة فى نموها.

التثبيت الحيوى للنتروجين، فيمكن لنتروجين التربة أن يمد أكثر من ٥٠٪ من النتروجين الكلى فى البقوليات ذات معدلات التثبيت المنخفضة. وأيضا، إذا تعدّى تركيز النترات فى المحلول الأرضى واحد ملليمولار، تصبح عملية تثبيت النتروجين محدودة. وهذا يمكن أن يحدث عندما تزرع البقوليات فى أراضى ذات مستويات عالية من النتروجين المتبقى، وهذا ينتج من سماد معدنى سابق أو إضافة مخلف عضوى. وفى حالة إمداد هذه البقوليات بسماد معدنى نتروجينى وبكمية كافية، فإن هذه البقوليات سوف لا تُكوِّن عقداً بكتيرية وسوف لا يحدث تثبيت للنتروجين. وقد أدى هذا إلى حدوث مناقشات حول القيمة الاقتصادية للسماد النتروجينى «البادئ Starter» للبقوليات (مثل فول الصويا)، وكذلك حول التأثير البيئى لإضافة مصادر نتروجين عضوية، مثل السماد الحيوانى والحمأة، للبقوليات. على أن وجود كمية صغيرة من النتروجين الميسر قبل التكوين الفعال للعقد البكتيرية قد يفيد النبات، ولكن الزيادة من السماد النتروجينى سوف تخفض، فى الغالب، أو توقف التثبيت الحيوى للنتروجين.

وبالإضافة إلى العملية التكافلية، فإن تثبيت النتروجين يمكن أن يحدث مع بعض أصناف الكائنات الحية الحرة. وأهم الأمثلة لذلك هى السيانو بكتريا (مثل الأنابينا، انظر سابقا) وهى ذاتية التغذية (تحتاج فقط: الضوء، الماء، N_2 , CO_2، والأملاح)، وبكتريا معينة عضوية التغذية. ومن الأمثلة غير التكافلية المهمة، البكتريا المثبتة للنتروجين وتشمل الأزوتوباكتر والبجيرنكيا، وهى مترمّمة هوائية وتحصل على الطاقة من أكسدة المادة العضوية، والأزوسبريللم، وهى بكتريا لاهوائية اختيارية، والكلوستريديوم، وهى مترمّمة لاهوائية. وبصفة عامة، بسبب أن كمية النتروجين المثبتة بواسطة هذه البكتريا صغيرة (٥ – ٥٠ كجم للهكتار)، فهى أقل أهمية فى معظم برامج إدارة نتروجين التربة.

٤ – ٣ مصادر النتروجين :

إن إنتاج الغذاء والألياف، وزراعة النباتات لأغراض جمالية، واستصلاح وتثبيت الأراضى المفككة بسبب البناء، والتعدين، والأنشطة الأخرى الصناعية والحضرية – يتطلب فى الغالب إضافة تكميلية من النتروجين للحصول على نمو مثالى للنبات. ويوجد قسمان كبيران لمصادر النتروجين؛ مصادر غير عضوية، ومصادر عضوية. تسود مصادر النتروجين غير العضوية فى الأسمدة التجارية، ولكنها تشمل أيضا كميات محدودة من الرواسب والنواتج الثانوية الصناعية. وتشمل مصادر النتروجين العضوية عموما: الأسمدة الحيوانية، وبقايا المحاصيل، وحمأة المجارى، ومياه المجارى الخام، وأصناف كثيرة من المخلفات العضوية الصناعية. وطبقا لسجلات التاريخ، فإن المصدر الرئيسى للنتروجين المضاف للأراضى كان عضويا فى طبيعته، سواءً فى صورة أسمدة حيوانية أو بقايا محاصيل. وأول سماد نتروجينى استخدام على مستوى تجارى فى الولايات المتحدة الأمريكية كان سماد الجوانو البيروفى (نسبة إلى بيرو بأمريكا الجنوبية)، وهو سماد عضوى أيضا فى طبيعته، وتكوَّن من عصور ترسيبات زرق الطيور البحرية بطول الساحل الأمريكى الجنوبى.

وفى أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر، تطورت العمليات الصناعية التى أمكنها أن تثبِّت النتروجين الجوى، محوِّلة إياه إلى أمونيا غازية، وسيناميد كالسيوم، أو حمض نتريك. ثم حدث بعد ذلك تحسُّن فى كفاءة هذه العمليات – مثل طريقة هابر – بوش لتخليق غاز الأمونيا من النتروجين الجوى – أدَّى إلى توفير أسمدة نتروجينية رخيصة الثمن، عالية فى محتواها النتروجينى، وبدأ يحدث تغيير ملحوظ فى طبيعة الزراعة على مستوى العالم. ولم يعد إنتاج الغذاء متوقفاً على وفرة الأراضى، أو الأسمدة، أو النتروجين من البقوليات، بسبب أن السماد النتروجينى أصبح يستخدم ليرفع بدرجة كبيرة إنتاجية الهكتار لمعظم المحاصيل الزراعية. بجانب ذلك، فإن سهولة تداول الأسمدة النتروجينية قللت احتياجات العمالة اللازمة لإنتاج

المحاصيل، وساهمت فى تطور مزارع ذات مساحات أكبر، ومتخصصة بدرجة أكبر، وكانت هذه المزارع تستخدم لإنتاج أقل من المحاصيل.

ورغما عن ذلك، لم تتساوى دائما القدرة الإنتاجية الزائدة مع كفاءة استخدام النتروجين الزائدة. وبالرغم من تعلُّم المزارعين (وهؤلاء الذين ينصحونهم) استخدام أسمدة جديدة بمفردها أو مركبة مع مصادر نتروجين عضوية، واستخدام أجهزة جديدة، ونظم زراعة جديدة، فكانوا فى الغالب يباشرون ذلك بدون فهم حقيقى لما تتضمنه من آثار بيئية محتملة. وقد أدّى عدم الثقة المرتبط بالممارسات الجديدة فى الإنتاج وانخفاض ثمن الأسمدة النتروجينية إلى تسميد زائد بالنتروجين، وساهم هذا فى حدوث تلوث للمياه الجوفية بالنترات وخاصة فى المناطق ذات التسميد المكثف.

وبصرف النظر عن صورة النتروجين المستخدم أو طبيعة نظام الأرض – نبات، فإن تعظيم كفاءة امتصاص النتروجين وتقليل قدرة مصدر النتروجين فى أن يلوث البيئة إلى أدنى حد، تعدُّ الآن أهدافًا أساسية للزراعة الحديثة، ولتحقيق إدارة سليمة لأى مصدر نتروجينى، فمن الضرورى أن نفهم جيدا كيف تؤثر الخواص الفيزيائية، أو الكيميائية، أو الحيوية للمادة السمادية على تداولها، وإضافاتها، ومصيرها بين التحولات العديدة لدورة نتروجين التربة. ومن المهم أيضا أن نفهم أن جميع المشاكل البيئية التى تنتج عن الإدارة غير السليمة للنتروجين يمكن أن تحدث مع كلٍّ من مصادر النتروجين غير العضوية والعضوية. هذا، وبالرغم من الاهتمام الكبير فى الزراعة المستدامة والزراعة العضوية، لم تُظهر البحوث تفوقًا حقيقيًا مرتبطًا بمصادر النتروجين العضوية. وفى الحقيقة ؛ ففى الكثير من الحالات، فإن الخواص الطبيعية واختلاف العناصر أو المكونات الداخلة فى تركيب المخلفات العضوية تجعل من الصعوبة الزائدة أن نقوم بإدارتها بنجاح أكثر من أسمدة النتروجين التجارية.

وتهدف الأقسام التالية إلى إعطاء نظرة شاملة عن إنتاج، وتركيب، وخواص مصادر النتروجين المهمة غير العضوية والعضوية والتى تستخدم كمحسّنات للتربة، وإلى إيضاح النقاط الجوهرية المرتبطة بالاستخدامات البيئية الصحيحة لجميع مصادر النتروجين.

٤ – ٣ – ١ مصادر النتروجين غير العضوية :

يوضح جدول (٤ – ٦) معظم أسمدة النتروجين الشائعة الإستخدام، وتنتج هذه الأسمدة من غاز الأمونيا المصنّع بطريقة هابر – بوش. وتستخدم هذه الطريقة الغاز الطبيعى (CH_4)، والنتروجين الجوى (N_2)، وبخار الماء (H_2O)، لإنتاج غاز الأمونيا (NH_3) كما يلى:



$$7CH_4 + 10\,H_2O + 8\,N_2 + 2\,O_2 \longrightarrow 16NH_3 + 7\,CO_2 \qquad (4-16)$$

ويبين هذا بوضوح جانبًا بيئيًا آخر لاستخدام النتروجين، وهو تأثيره على الموارد الطبيعية، بسبب أن إنتاج أسمدة النتروجين تستهلك الغاز الطبيعى، وهو مورد طبيعى محدود (غير متجدد) ومهم. وبالتالى، فسوف يشجع الاستخدام الكفء لأسمدة النتروجين طول عمر موارد الغاز الطبيعى.

وبمجرد تصنيع غاز الأمونيا يمكن استخدامه:

(١) مباشرة فى صورة أمونيا لا مائية، وغاز مضغوط (NH_3)،

(٢) يتفاعل مع ثانى أكسد الكربون لتكوين يوريا [$CO(NH_2)_2$]،

(٣) يتأكسد إلى نترات التى تتفاعل مع زيادة من الأمونيا لتكون نترات الأمونيوم (NH_4NO_3)،

(٤) يرتبط مع حامض كبرتيك لإنتاج كبريتات أمونيوم [$(NH_4)_2SO_4$]، أو مع أنواع عديدة لحامض الفوسفوريك لتكوين فوسفات الأمونيوم مثل فوسفات ثنائى الأمونيوم [DAP, $(NH_4)_2HPO_4$] أو فوسفات أحادى الأمونيوم [MAP, $NH_4H_2PO_4$] .

ويمكن أن تستخدم العمليات الصناعية أيضا فى إنتاج محاليل نتروجينية (مثل يوريا – أمونيوم – نترات UAN أو الأمونيا المائية) أو الأسمدة التى يمكن التحكم فيها، وهى الأسمدة بطيئة التيسر ، والأسمدة الصلبة التى تغطى بمواد راتنجية (الأزموكوت Osmocote، المستخدم فى الصوب والمشاتل) أو تغطى بكبريت (اليوريا المغلفة بالكبريت)

وذلك لتأخير معدل ذوبانها فى التربة. كما تنتج أيضا أنواع كثيرة من الأسمدة المخلوطة التى تحتوى على K, P, N وبعض المغذيات الأخرى. وفى كثير من المناطق الحضرية (مثل المساحات المغطاة بالحشائش والأعشاب ، حدائق المنازل) ومشارع استصلاح الأراضى تستخدم أسمدة مخلوطة بأسلوب مكثف لإمداد النتروجين وتدعيم الحالة الغذائية الكلية للأراضى المنخفضة الخصوبة. كما تتوافر أيضا أسمدة النتروجين النتراتية (مثل نترات الكالسيوم أو نترات البوتاسيوم) [$Ca(NO_3)_2$, KNO_3]، ومع ذلك، فبسبب تكلفة الإنتاج، والكفاءة الأقل لامتصاص النتروجين من الأسمدة النتراتية، تستخدم هذه الأسمدة النتراتية لنوعية خاصة من المحاصيل (الخضروات، الفواكه، التبغ) أو للمحاصيل الحساسة للأمونيا.

وتتحكم العوامل الاقتصادية، أكثر من أى عامل آخر، فى اختيار المصدر النتروجينى. وبصفة عامة، فالأسمدة ذات المحتوى الأعلى من النتروجين لها تكلفة أقل فى التخزين، والنقل، والمناولة، والإضافة، وعلى ذلك فهى اقتصادية أكثر من غيرها. إلا أن خواص بعض الأسمدة وبالذات المرتفعة فى محتواها النتروجينى يمكن أن ترفع قيمة التكلفة. فعلى سبيل المثال، الأمونيا اللامائية، التى لها أعلى محتوى نتروجين عن أى سماد آخر (٨٢٪ N)، تتطلب جهاز إضافة معقد يستطيع أن يضغط الغاز، ويحوله إلى سائل، ويحقن الأمونيا فى التربة بطريقة تقلل فقدها بالتطاير. ويمثل تطاير الأمونيا مشكلة كبيرة مع اليوريا، والتى هى أعلى سماد صلب فى محتواه النتروجينى (٤٥٪ N)؛ وتتطلب، فى الغالب، نوعاً من الدمج فى التربة لتعظيم كفاءة امتصاص النتروجين من هذا المصدر. ولا تعتبر الخواص الطبيعية والكيماوية لمصادر النتروجين العوامل الوحيدة التى تؤثر فى اختيار السماد. ففى الولايات المتحدة يوجد تفضيل إقليمى واضح للأسمدة المعدنية النتروجينية، وهذا التفضيل، غالبا، مرتبط بالبنية الأساسية الخاصة بتصنيع الأسمدة ونقلها، والتى تطورت مع الزمن، أكثر من ارتباطه بالاحتياجات الخاصة لنظم الزراعة الإقليمية (شكل ٤ – ١١).

وتشمل العوامل الأخرى التى تؤثر فى اختيار السماد النتروجينى: ممارسات إدارة المحصول (نوع المحصول والدورة الزراعية، الحرث، الرى)، ونوع التربة

جدول ٤ – ٦ خواص أسمدة النتروجين التجارية الرئيسية.

مصدر النتروجين	التركيب الكيميائى	%N
المصادر الأمونيومية:		
أمونيا لا مائية	NH_3	٨٢
أمونيا مائية	$NH_3 . H_2O$	٢٠ – ٢٥
كلوريد أمونيوم	$NH_4 Cl$	٢٥
نترات أمونيوم	$NH_4 NO_3$	٣٣
كبريتات أمونيوم	$(NH_4)_2 SO_4$	٢١
المصادر النتراتية:		
نترات الكالسيوم	$Ca (NO_3)_2$	١٥
نترات البوتاسيوم	KNO_3	١٣
نترات الصوديوم	$Na NO_3$	١٦
اليوريا ومشتقاتها:		
اليوريا	$CO (NH_2)_2$	٤٥
محلول يوريا – نترات أمونيوم	٢٠ – ٢٥٪ يوريا + ٤٠ – ٤٢٪ NH_4NO_3	٢٨ – ٣٢
يوريا فورم	يوريا فورما لدهيد	٣٨
IBDU	ايزو بيو تيليدين ثنائى اليوريا	٣٢
SCU	يوريا مغلفة بالكبريت	٣٦ – ٣٨
مواد نتروجين – فوسفور:		
فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	١١
فوسفات ثنائى الأمونيوم	$(NH_4)_2 HPO_4$	١٨ – ٢١
محلول أمونيوم عديد الفوسفات.	$(NH_4)_3 HP_2 O_7$	١٠ – ١١

وحساسيتها لفقد النتروجين، وتأثير السماد النتروجينى على رقم حموضة التربة (عملية النترتة لها تأثير حامضى، تختلف أسمدة النتروجين فى قدرتها على خفض رقم حموضة التربة)، والحاجة إلى الإضافة المتزامنة (فى نفس الوقت) للعناصر الغذائية الأخرى، وصلاحية المادة السمادية لجهاز الإضافة الموجود. وسنناقش تأثيرات هذه العوامل على إدارة النتروجين بتفصيل أكبر فى قسم ٤ – ٤.

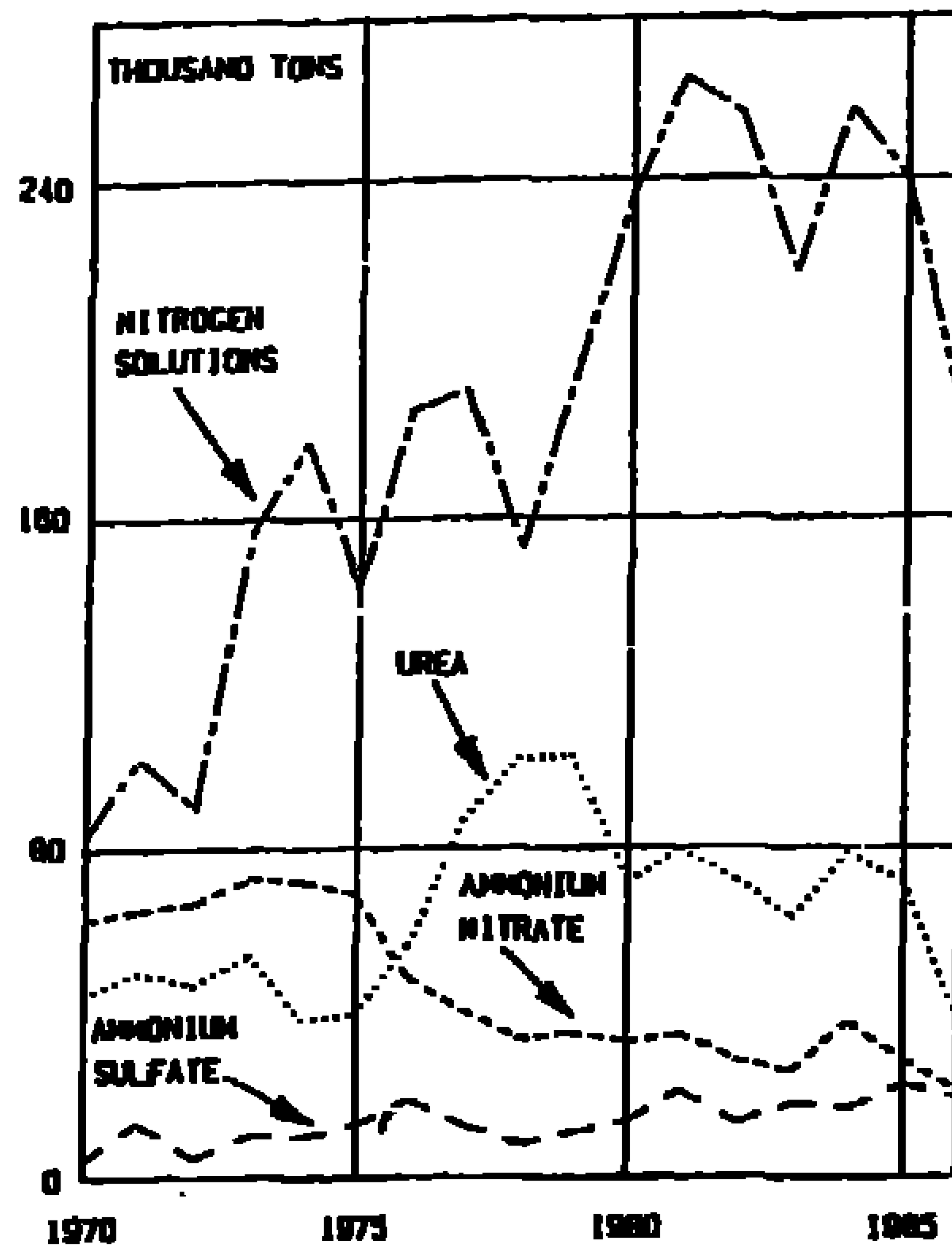
٤ – ٣ – ٢ مصادر النتروجين العضوية :

تستخدم مجموعة كبيرة متنوعة من المواد العضوية كمحسّنات التربة، وكثير منها يحتوى على كميات معقولة من النتروجين؛ فالأسمدة الحيوانية، وحمأة المجارى، ومياه المجارى الخام، والأسمدة العضوية المصنعة من المخلفات الصلبة للبلدية أو مخلفات الحظائر والساحات، ومخلفات تصنيع الغذاء، والكيماويات العضوية الصناعية، وبقايا المحاصيل ونواتج الغابات، تمثل المخلفات العضوية السائدة التى تنتج على مستوى العالم. وتقدر كمية المخلفات العضوية المنتجة سنويا فى الولايات المتحدة بأكثر من ٤٠٠ مليون طن مترى فى السنة. وتبدو خطورة وأهمية هذه المشكلة عندما نُعبِّر عن هذه الكمية على أساس «بالنسبة للشخص». وفيما يخص الأسمدة الحيوانية، ومخلفات البلدية الصلبة وحمأة المجارى، والمخلفات الصلبة من الصناعة وحمأة معالجة المياه، وبقايا الأشجار الحراجية، فإن الكمية الناتجة تكافئ تقريبا ٩٠٠، ٥٥٠، ٤٥٠، ٤٠٠ كجم للشخص فى السنة (على أساس الوزن الجاف)، بالترتيب. وتهدف التغيرات الحادثة فى الولايات المتحدة وبعض الأقطار الأخرى إلى تغيير طبيعة وتوزيع المخلفات العضوية بدرجة معنوية. وفى ولايات كثيرة، فإن الدفن فى باطن الأرض لمخلفات الساحات (أوراق الأشجار المتساقطة، نواتج قص الحشائش)، والتى بلغت حوالى ٢٠٪ من حجم مايدفن فى الأرض، أصبحت بسرعة ممارسة غير مقبولة، وجارى حاليا استبدالها بإنتاج أسمدة عضوية صناعية (كمبوست) من هذه المخلفات على نحو تجارى. وبطريقة مشابهة، قامت بعض البلديات بتطوير عمليات الكمبوست بالنسبة

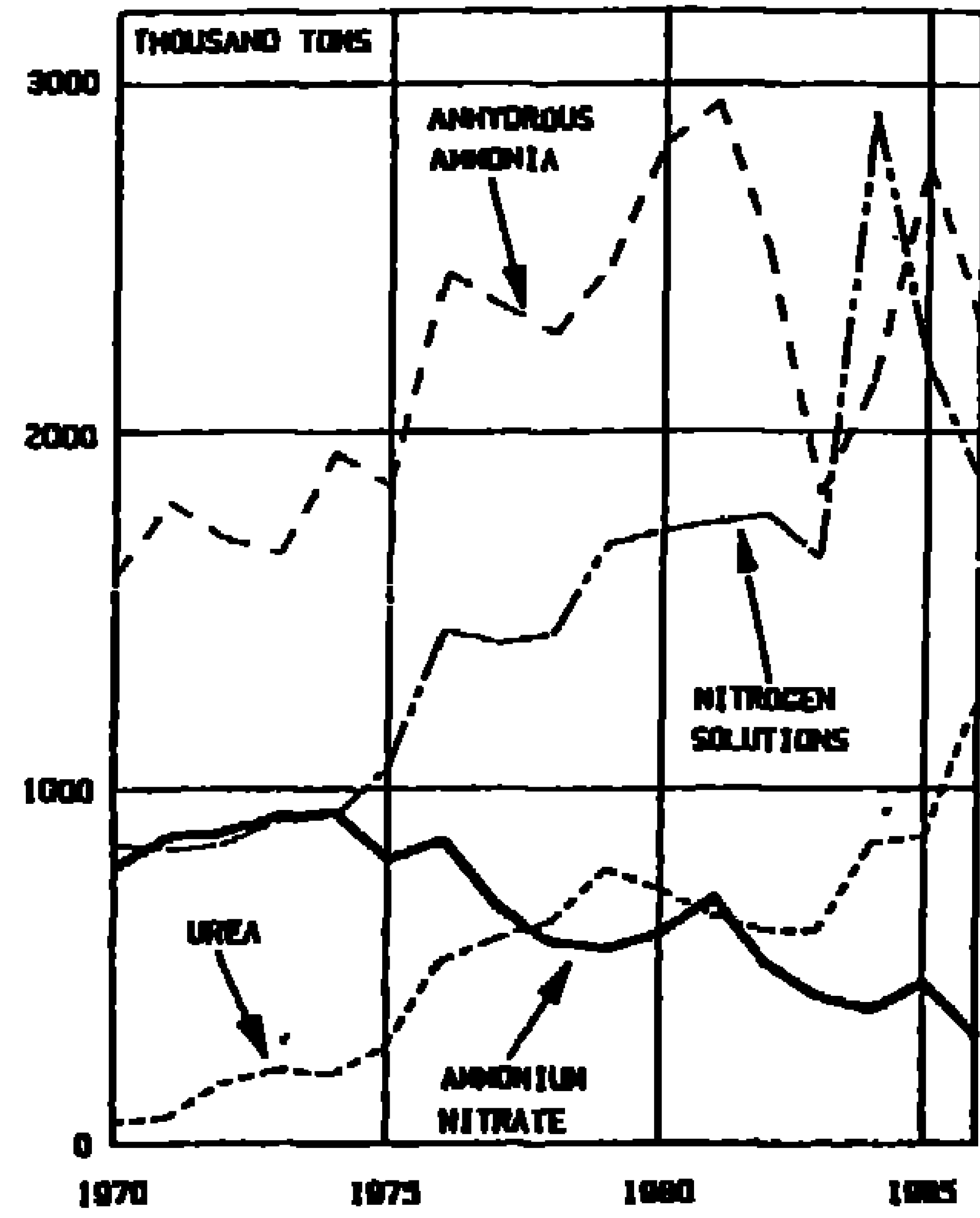
لحمأة المجارى والجزء العضوى من نفايات البلدية. ولقد أدى إنتاج هذه الأسمدة العضوية الصناعية «كمبوست» بالتأكيد إلى حدوث زيادات كبيرة فى كمية النتروجين العضوى المضاف إلى الأراضى. كما تشمل بعض التغيرات الحادثة إنتاج سماد عضوى صناعى «كمبوسبت» أو كُرات أو مُصبّعات من الأسمدة الحيوانية فى المناطق التى توجد فيها كميات الأسمدة الحيوانية زائدة بدرجة كبيرة عن احتياجات الأراضى الزراعية. وإن إزالة الأسمدة الحيوانية ونقلها بعيداً عن المزرعة، للاستعمال فى المناطق الحضرية، أو فى مشاريع البناء والاستصلاح، يؤدى فى الغالب إلى زيادة استخدام هذه المواد فى برامج إضافتها للأراضى بما فى ذلك محاصيل البساتين، والحشائش والأعشاب، وإعادة تخضير بعض المناطق لكى تستخدمها الحيوانات الأليفة والبرية.

وبالرغم من أن جميع المخلفات العضوية تحتوى نتروجين، فإن كمية النتروجين، وصوره، ودرجة تيسره، تختلف بدرجة كبيرة. وهناك بيانات متوفرة عن متوسط محتوى معظم المخلفات العضوية من النتروجين وكذلك عن مداه أيضًا، ولكن التغيرات الكبيرة فى محتوى هذه المخلفات من النتروجين الكلى وغير العضوى (مثل الأمونيا والنترات)؛ تجعل ترجمة نتائج تحليل النتروجين أو العناصر الأخرى مشكلة قائمة. والتعميم الواسع لمحتوى النتروجين فى المخلفات العضوية، ربما يكون له مبرراته؛ بسبب أنه أصبح من الموثوق فيه بدرجة كافية أن مخلفات عضوية معينة ستظل بصفة منتظمة لها محتوى نتروجين كلى أعلى من البعض الآخر، كما هو موضح فى جدول (٤ – ٧) للأسمدة الحيوانية (الدواجن > الخنزير > ماشية اللبن > ماشية اللحوم)، ولمنتجات حمأة البلديات (الهوائية > اللاهوائية > المصنوعة سمادا عضويا). وبالرغم من ذلك ، يمكن أن يؤدى المدى الواسع فى نسبة النتروجين الكلى بين الأنواع المتشابهة للمخلفات إلى توريطات معنوية بالنسبة لإضافة النتروجين للأراضى والمحاصيل، كما يوضحه شكل (٤ – ١٢). فى هذه الدراسة، تم تقدير كمية السماد العضوى اللازم لإمداد كمية النتروجين المطلوبة لنبات الذرة من سماد الدواجن، بالاعتماد على تحليل عينات السماد من ١٧ منطقة لتخزين سماد المزرعة. وعندما قورنت كمية النتروجين

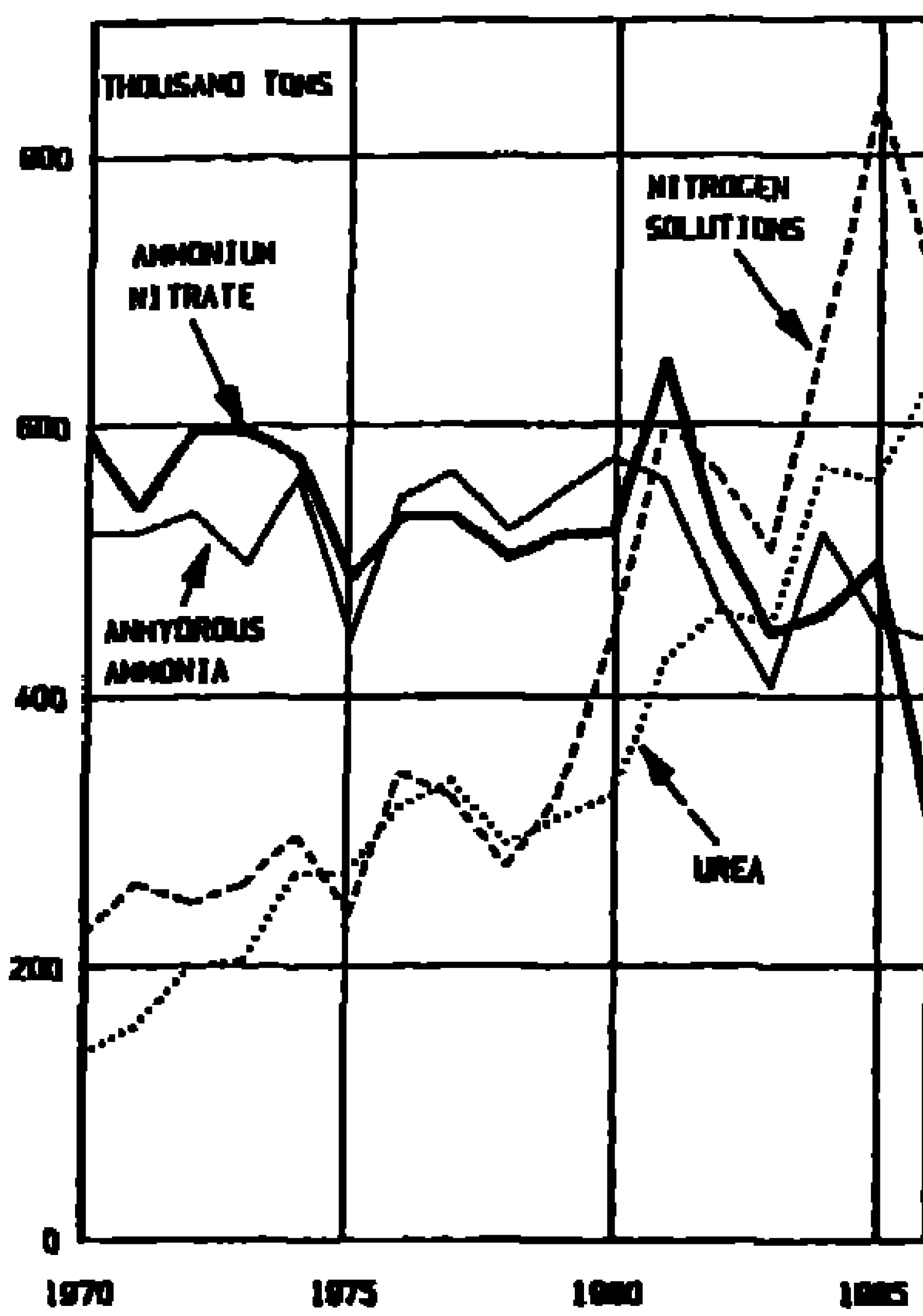
Mid-Atlantic



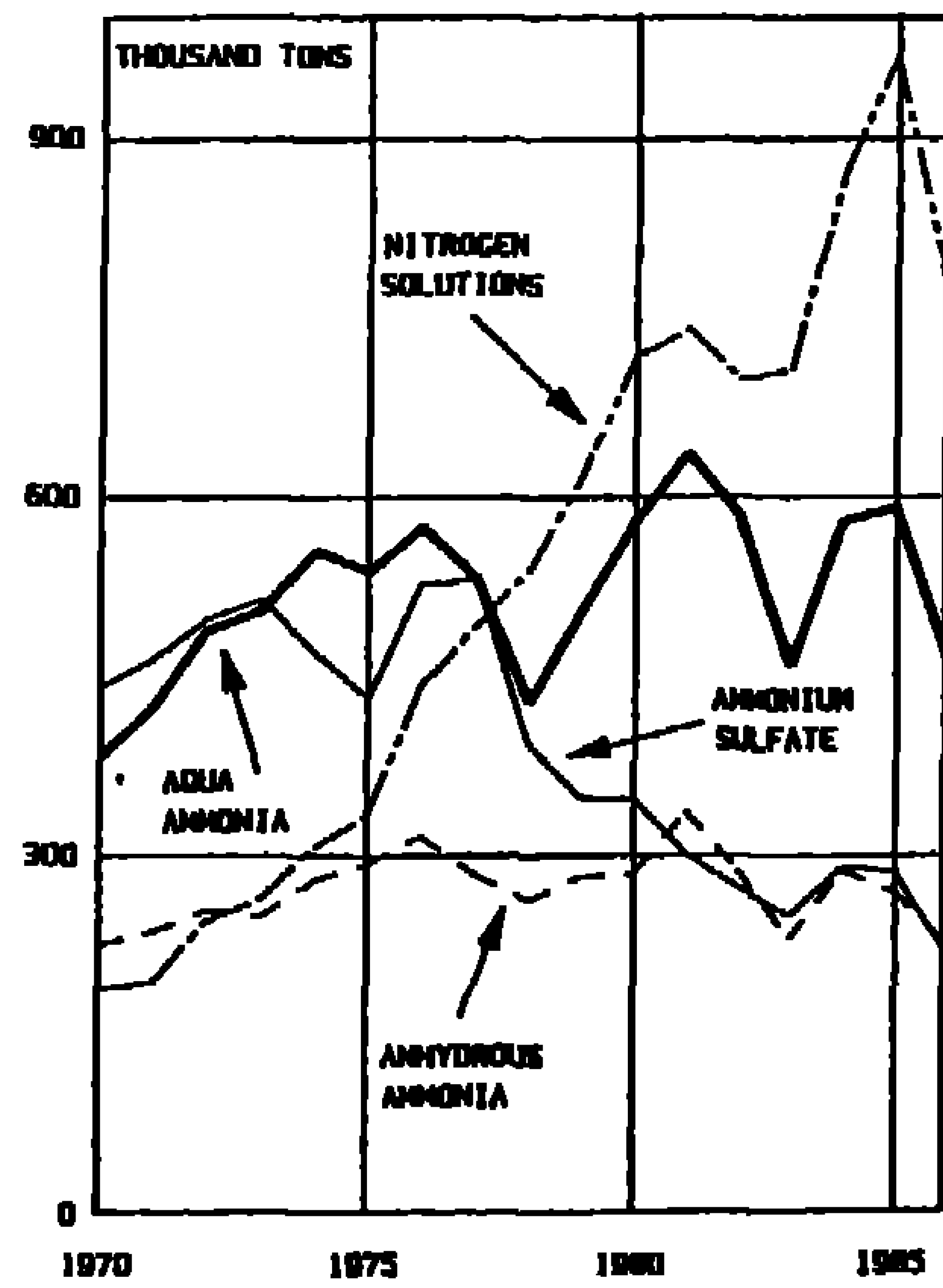
West North Central



West South Central



Pacific



شكل ٤ – ١١ الأفضلية والاتجاهات فى استخدام الأسمدة النتروجينية فى المناطق المختلفة.

(Berry and Hargett, 1986.)

جدول ٤ – ٧ القيم الممثلة لنسبة النتروجين ودرجة تيسره فى بعض المخلفات العضوية.

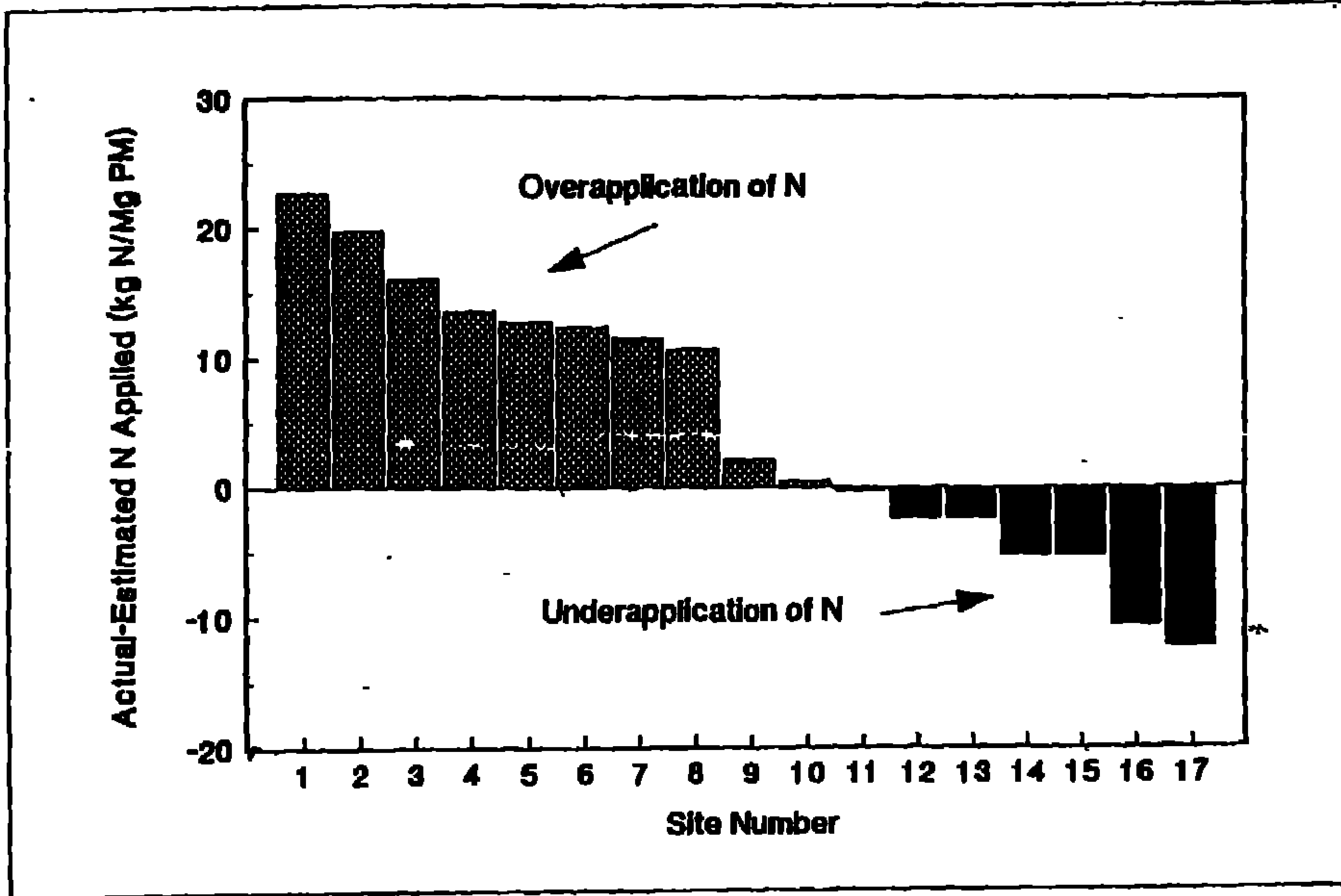
مصدر النتروجين العضوى	N الكلى (٪)	N العضوى المتمعدن* (٪)
أسمدة حيوانية:		
أبقار اللحم	١ر٣ — ١ر٨	٢٥ — ٣٥
أبقار الألبان	٢ر٥ — ٣ر٠	٢٥ — ٤٠
الدواجن	٤ر٠ — ٦ر٠	٥٠ — ٧٠
الخنزير	٣ر٥ — ٤ر٥	٣٠ — ٥٠
منتجات الحمأة:		
هضم هوائى	٣ر٥ — ٥ر٠	٢٥ — ٤٠
هضم لاهوائى	١ر٨ — ٢ر٥	١٠ — ٢٠
مصنعة كمبوست	٠ر٥ — ١ر٥	(—١٠) — ١٠
مخلفات أخرى:		
مخلفات تخمير	٣ر٠ — ٨ر٠	٢٠ — ٥٠
مخلفات تصنيع الدواجن	٤ر٠ — ٨	٤٠ — ٦٠
حمأة مصانع الورق	٠ر٢ — ١ر٠	(— ٢٠) — ٥

ملحوظة : القيم المذكورة من مصادر عديدة.

* النتروجين العضوى المتمعدن مقدر من دراسات التحضين فى المعامل. وتوضح القيم السالبة لكمبوست حمأة المجارى وكمبوست حمأة مصانع الورق – حدوث عملية التثبيت فى صورة عضوية.

المتنبأ بإضافتها بتلك الكمية المضافة فعلا، اعتماداً على تحليل عينات السماد التى جمعت أثناء الإضافة، وجد أن زيادة الإضافة بمقدار ١٠ – ٢٠ كجم N/ طن سماد عضوى أدت إلى النتيجة نفسها التى حدثت فى حالة نقص الإضافة بمقدار ٥ – ١٠ كجم/طن سماد. وعلى ذلك، فإن الإضافة المضبوطة للمعدل السمادى الموصى به للذرة (حوالى ٥طن/هكتار)، معتمداً على تحليل السماد، أدت فى الغالب إلى إضافة زيادة من السماد تقارب الاحتياجات الكلية للمحصول من النتروجين (حوالى ١٠٠ كجم N/هكتار). وبكل وضوح ؛ فالأمر يتطلب أسلوباً أكثر شمولية من تحليل النتروجين ومعايرة الأجهزة، وذلك لتلافى الإضافة الزائدة أو الناقصة للنتروجين من المخلفات العضوية.

وتوجد بعض الأساليب الحديثة الإبداعية لإدارة النتروجين العضوى مشروحة فى قسم ٤ – ٤ من هذا الفصل. وعموما، فإن المفتاح إلى الاستخدام الفعال لمصادر النتروجين العضوية هو فهم العوامل التى تؤثر فى درجة انتشار ومعدل تحول النتروجين العضوى إلى صور ميسرة للامتصاص بواسطة النبات أو للفقد فى البيئة. ويتأثر تيسر النتروجين فى المخلفات العضوية بتركيب هذه المخلفات، وبطريقة إنتاج المخلف وطريقة تخزينه، وكذلك أيضا بالتغيرات الكيميائية والحيوية التى تحدث بعد إضافته إلى التربة. ولقد توجهت كثير من البحوث نحو تحديد الاختلافات فى درجة تيسر النتروجين بين الأنواع المختلفة للمخلفات، ثم استخدام خواص المخلف للتنبؤ بتيسر النتروجين. وبالنسبة لتركيب المخلف، أوضحت هذه الدراسات أنه يمكن تصنيف المخلفات إلى مجموعات بالنسبة لتيسر النتروجين العضوى فيها (جدول ٤ – ٧). فبعض المخلفات (مثل سماد الدواجن، الحمأة المهضومة هوائيًا) ليست عالية فى النتروجين الكلى فحسب، ولكنها تعطى أيضاً نتروجين أكثر بتحللها فى التربة، مقارنة بالمخلفات الأخرى الأكثر ثباتا (مثل الكمبوست، حمأة مصانع الورق). ولقد استخدمت أساليب بسيطة وأخرى معقدة للتنبؤ بتيسر النتروجين، كما تم ترتيب حمآت المجارى المختلفة طبقا لقدرة معدنة النتروجين كما يلى:



شكل ٤ – ١٢ الفرق بين النتروجين الكلى المعتمد على عينات من سماد الدواجن (PM) مأخوذة من الحقل والكمية المقدرة التى يجب أن تضاف اعتماداً على تحليلات معملية لعينات مأخوذة من مخزن السماد. وهذه عبارة عن نتائج ١٧ دراسة حقلية. (Igo et al . 1991.)

الحمأة المنشطة (٤٠٪) > الحمأة الخام والأولية (٢٥٪) > المهضومة لا هوائيا (١٥٪) > المصنوعة سماداً عضوياً (٨ ٪).

وبالنسبة لبعض المخلفات، فإن كلاً من النتروجين الكلى، والنتروجين الأمونيومى يجب أن يشمله أى تقدير دقيق لكمية النتروجين الميسر والمسمى Potentially (PAN) Available N، كما هو موضح فى النموذج البسيط المطور لأسمدة الدواجن:

$$PAN = [K_m (N_o) + e_f (NH_4 - N)] \qquad (4 - 17)$$

حيث:

K_m = نسبة النتروجين العضوى (N_o) المتمعدن (K_m = ٤٠ –٦٠٪، تعتمد على الفصل من السنة الذى أضيف فيه السماد، مثل الشتاء، الربيع).

e_f = عامل يعكس كفاءة امتصاص نتروجين الأمونيا من السماد العضوى (٢٠ – ٨٠٪ ، تعتمد على الزمن الذى ينقضى حتى يتم دمج السماد العضوى مع التربة).

ومع ذلك فإن استخدام المخلفات العضوية كمصادر للنتروجين، لا يمكن أن يعتمد على تيسر النتروجين، فقط، فتوجد فيها مغذيات أخرى وعناصر غير ضرورية، وهذه تحدِّد معدل إضافة المخلفات، وكذلك تحدد أيضا صلاحية هذه المخلفات للاستخدامات النهائية المختلفة. وفى الوقت الحالى، هناك ثلاثة موضوعات رئيسية خاصة بتركيب المخلف، وهى تؤثر فى استخدام المخلفات العضوية فى كل من المدى القصير والمدى البعيد فى برامج إضافتها للأراضى:

(١) تراكم الفوسفور إلى مستويات زائدة فى الأراضى المحسنة بالمخلف.

(٢) احتمال تلوث الأراضى، والمحاصيل، والمياه بالعناصر الثقيلة.

(٣) وجود واحتمال حدوث تأثيرات بيئية عكسية للملوثات العضوية الموجودة فى المخلفات العضوية.

وسوف نناقش هذه الموضوعات بتفصيل أكبر فى الفصل التاسع.

٤ – ٤ أسس الكفاءة فى إدارة النتروجين :

يمكن تعريف الكفاءة بأنها القدرة على أداء عمل بدون إهدار للوقت، أو الجهد، أو الموارد. وتعتبر كفاءة النتروجين فى نظام التربة – النبات، فى أبسط صورة، بأنها القدرة على إدارة الوقت، والجهد والموارد اللازمة للحصول على مستوى مقبول لنمو النبات (العمل المطلوب) مع الحد الأدنى فى فقد النتروجين (المخلف). وتوجد نظم طبيعية قليلة كفاءتها ١٠٠٪؛ ولو أخذنا فى الاعتبار تعقيدات دورة نتروجين التربة والقيود المفروضة بواسطة: الزمن، والعمالة، ونوع التربة، والممارسات الزراعية، والظروف البيئية، والموارد المتاحة، فلا تندهش عندما تجد أن كفاءة امتصاص النتروجين المضاف فى معظم النظم الزراعية نادرا ما تتعدى ٦٠٪ وفى الغالب تتراوح

بين ٣٠ ، ٥٠٪ تحت ظروف الإدارة العادية. ولسوء الحظ، ففى الأماكن التى فيها اهتمام بالنتروجين، فإن عدم كفاءة الامتصاص بواسطة أحد النظم البيئية (أرض – نبات) تؤدى غالبا إلى إعادة توزيع NO_3^-، أو NH_3، أو N_2O فى نظام بيئى آخر ، وهذا يمثل التأثير الثانى لكفاءة النتروجين، وهو القدرة على إحداث تأثيرات عكسية على مورد آخر فى البيئة. وبالاستناد إلى تعريف الكفاءة السابق، فإن الأسئلة الأساسية التى يجب أن توجه بالنسبة لإدارة النتروجين هى:

* كيف نُعرِّف المستوى المقبول من نمو النبات، خاصة فى النظم غير الزراعية مثل المناطق الحضرية، والغابات، ومناطق استصلاح الأراضى؟
* كيف نُقرِّر ماهى الدرجة التى يكون عندها المخلف النتروجينى غير مقبول، آخذين فى الاعتبار التداخلات أو التفاعلات المعقدة بين سياسة الإنتاج النباتى واقتصادياته؛ والتدوير غير المتوقع غالبا للنتروجين بين الأرض والهواء والماء ؛ واختلاف درجة حساسية النظم البيئية لتلوث النتروجين؟
* ربما يكون فى غاية الأهمية، كيف نُصمِّم نظمًا أكثر كفاءة لاستخدام النتروجين، ونراقب هذه النظم بدرجة كافية لنعرف إذا كان يحدث لها تحسينات نتيجة الممارسات الماضية أم لا ؟

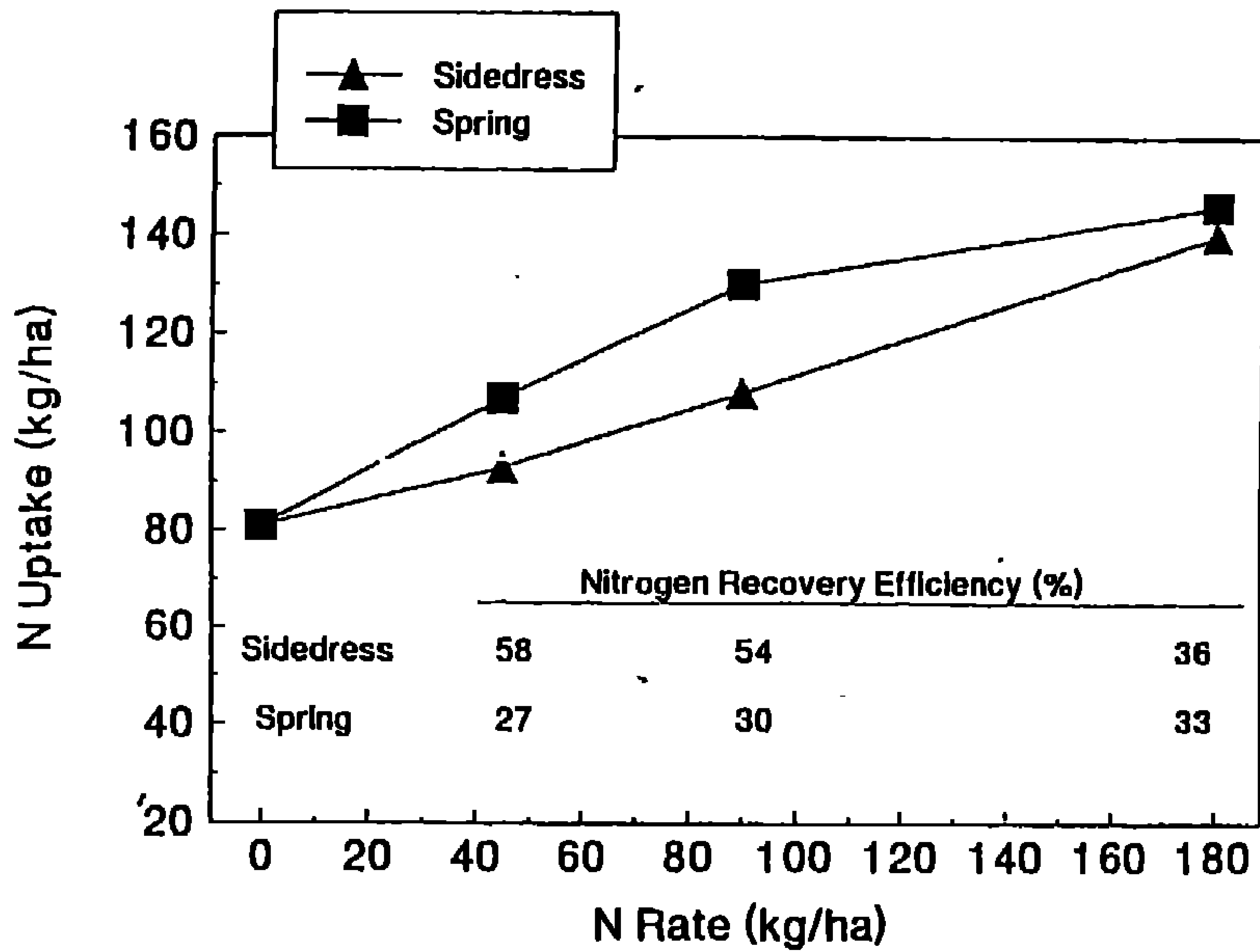
من النادر أن تجد إجابات شافية واضحة لمثل هذه الأسئلة ؛ وبدلا من ذلك نستجيب لها عن طريق إعداد نظم المعلومات ونظم الإدارة التى تتطور باستمرار مع نمو قاعدة معلوماتنا. على أن الحدود المقبولة للإنتاج النباتى يجب أن تأخذ فى الاعتبار كلا من النقص فى الغذاء على مستوى العالم، وهوامش الربح لأفراد المزارعين. وفى كثير من المناطق الحضرية والمناطق التى تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوان، يجب أيضا أن تستجيب هذه المناطق للحاجات الملحة للتخلص من المخلفات التى تنتج من تركيز العناصر الغذائية فى المناطق التى ليس بها مساحات من الأراضى لاستخدام هذه المخلفات ؛ فلو أن هناك تربةً عوملت بالمخلفات لبضع سنوات وتحتاج إلى قدر بسيط من النتروجين لتنتج أعظم محصول يمكن الحصول عليه، مع توافر

العوامل الأخرى الضرورية (مثل ضوء الشمس، المطر الساقط)، فكيف نُوفّق مبدأ نمو النبات المقبول مع الإنتاج المستمر للنتروجين من المخلف أو الحمأة؟ وبالمثل، قامت وكالات تنظيم البيئة بتحديد المستويات غير المقبولة للنتروجين فى مياه الشرب والمياه السطحية، ومع ذلك، ففى بعض المناطق أوضحت البحوث أنه – بسبب طبيعة الأراضى، والمناخ، والقيود المفروضة بالتقنية الحالية – لا نستطيع إنتاج محاصيل حبوب بطريقة ربحية بدون مياه صرف تتعدى هذه المستويات القياسية. هل يمكن أن نُحسّن الكفاءة بدرجة كافية عن طريق الإدارة أو عن طريق تشريع قوانين للتغلب على القيود الأساسية على امتصاص المحصول للنتروجين فى هذه المناطق؟ وأكثر من هذا أهمية، كيف نستطيع أن نقدّر عما إذا كانت ممارساتنا الجديدة – والتى ربما تكون مرتفعة التكلفة – تخفض بدرجة معنوية تلوث النتروجين للمياه الجوفية، والمياه السطحية، أو الهواء الجوى؟.

وتتطلب مثل هذه المشاكل المعقدة أساليب إدارة غاية فى الانضباط. وفى الوقت الحاضر، تواجه وكالات البحوث والاستشارات والتنظيم البيئية المنتشرة فى العالم تحدياً رئيسياً، هو الحاجة إلى تكامل خبرات الكثير من التخصصات، بغرض تطوير خطط الإدارة التى تستطيع أن تُعظّم القيمة الاقتصادية للنتروجين الموجود فى الأسمدة المعدنية والمخلفات العضوية، وفى نفس الوقت تقلل – إلى أدنى حد – التأثيرات البيئية العكسية. وبالأخذ فى الاعتبار تعقيدات دورة نتروجين التربة وتفاعلاتها مع النظم البيئية الأخرى – فإن التخطيط المنظم بواسطة المهندسين الزراعيين، وعلماء الأراضى، وأخصائيى: البساتين، التأجيم، كيمياء الغلاف الجوى، الرى، الميكروبيولوجيا، اقتصاديات الموارد، والمهندسين، وآخرين غيرهم، أمر مطلوب لمواجهة هذا التحدى. وفى الأقسام التالية سوف نركز على عملية الكفاءة فى إدارة النتروجين – بصفة أساسية للمحاصيل الزراعية – بالرغم من أننا سوف نستخدم بعض المراجع لأراضى الغابات، والعمليات البستانية، وزراعة الأعشاب، واستصلاح الأراضى وذلك لإيضاح الاختلافات الجوهرية فى إدارة النتروجين اللازمة لهذه الحالات.

٤ – ٤ – ١ المبادئ العامة لكفاءة استخدام النتروجين :

تشمل أساليب تقدير كفاءة استخدام النتروجين بواسطة المحاصيل الزراعية مكونات زراعية وأخرى بيئية. نحن نسعى إلى تعظيم الكفاءة الزراعية عن طريق إنتاج أكبر للمحاصيل باستخدام نتروجين أقل، وأيضا تعظيم الكفاءة البيئية عن طريق تقليل - إلى أدنى حد - هروب النتروجين المضاف من التربة إلى نظام بيئى حساس للتلوث بالنتروجين. وبناء على ذلك، تعتبر آلية التقدير الكمّى ضرورية إذا كنا بهدف تقويم نجاح برامج الإدارة المقترحة أو الموجودة. **وإن كفاءة استخدام المحصول للنتروجين** (NUE) من وجهة النظر الزراعية (إنتاج واقتصاد) يمكن التعبير عنها تقليديا بمصطلح



شكل ٤ – ١٣ امتصاص النتروجين، وكفاءة امتصاص النتروجين (NRE) لنبات الذرة. أضيف السماد النتروجينى دفعة واحدة أو على عدة دفعات باستخدام سماد «بادئ»، والتسميد بجانب الخطوط. (Bock, 1984.)

(YE) «كفاءة المحصول»، أو بمصطلح «كفاءة امتصاص النتروجين» (NRE) وتعرف كالآتى:

كفاءة المحصول YE = (المحصول للأرض المسمدة – المحصول للأرض غير المسمدة) / (النتروجين الكلى المضاف من السماد) ... (٤ – ١٨)

كفاءة امتصاص النتروجين NRE = (النتروجين الممتص بواسطة المحصول فى الأرض المسمدة – نظيره فى الأرض غير المسمدة) / (النتروجين الكلى المضاف من السماد) ... (٤ – ١٩)

وتأخذ كفاءة المحصول فى اعتبارها – فقط – العلاقة بين التسميد النتروجينى وإنتاج المحصول، وهذا يعتبر تقييماً اقتصادياً، بينما تقدم كفاءة امتصاص النتروجين تقييما للنتروجين المضاف الذى، بسبب أنه لم يمتص بواسطة المحصول، أعيد توزيعه إلى بعض المكونات الأخرى لدورة النتروجين. وعلى ذلك فإن كفاءة امتصاص النتروجين تراعى كلاً من الاعتبارات الاقتصادية والبيئية، وفى حالة ربطها بنتائج أخرى، مثل التغيرات فى تركيز النترات فى التربة فى منطقة جذور المحصول، يمكن أن تساعد فى تحديد مصير النتروجين غير الممتص. وهناك نقاط أساسية عديدة يجب أن تؤخذ فى الحسبان عند تقييم قيم كفاءة امتصاص النتروجين للمحاصيل المختلفة وممارسات الإدارة. **أولاً**، من المهم أن نتذكر أن النتروجين غير الممتص ليس بالضرورة يفقد من نظام التربة – النبات؛ فقد يُثبّت مؤقتا فى صورة نتروجين عضوى، أو يظل فى منطقة الجذور فى صورة كاتيون أمونيوم أو أنيون نترات، أو حتى يحدث له تدوير خلال مياه الرى. وفى هذه الحالات، فإن النتروجين غير الممتص بمحصول ما قد يمكن أن يكتشف عن طريق الامتصاص بمحصول تالى. **ثانياً**: كما هو موضح فى شكل ٤ – ١٣، فإن طبيعة المنحنى الخاص باستجابة المحصول (المحصول وامتصاص النتروجين) للنتروجين المضاف تعنى أن نتائج تقديرات YE، NRE سوف تختلف باختلاف مستوى النتروجين. وعموما، حينما تقل YE، NRE، ويزداد احتمال فقد النتروجين إلى الأنظمة البيئية مع زيادة معدل

النتروجين، فإن نسبة النتروجين المضاف التى لم تكتشف فى المحصول تعتمد بكل تأكيد على كمية النتروجين المستخدم. وفى النهاية، نظرا لأن معظم الدراسات تجعل NRE يعتمد أساسا على الفرق فى امتصاص النتروجين بين المحصول المسمد وغير المسمد (الكنترول)، فيجب أن نلاحظ أن إضافة النتروجين إلى محصول ماسوف يؤثر فى امتصاص نتروجين التربة الأصلى، عن طريق كل من: تغيير تحولات نتروجين التربة، وتشجيع المجموع الجذرى للمحصول على امتصاص النتروجين.

لقد تم تقدير تأثيرات وتفاعلات نوع التربة، وإدارة المحصول (الحرث، الرى، الدورة الزراعية، استخدام السماد)، وطريقة وتوقيت إضافة النتروجين على NRE لكثير من مصادر النتروجين والمحاصيل الزراعية؛ وتوجد أمثلة لها معطاة فى جدول ٤ – ٨. وتهدف هذه الدراسات عادة إلى معرفة قيمة فقد النتروجين فى ظروف بيئية مختلفة وتحت ممارسات متغيرة من الإدارة. ولقد حاولت بعض البحوث السوفسطائية أن تقدر المصير النوعى للنتروجين المضاف، كما هو موضح فى شكل ٤ – ١٤، معتمدة فى الغالب على استخدام أسمدة مرقمة باستخدام N - 15 أو بقايا محاصيل، وذلك لاقتفاء أثر حركة النتروجين.

إن الكفاءة البيئية لاستخدام النتروجين، والتى اتضح أهميتها، يصعب بدرجة كبيرة تقديرها تقديرا كميا، وذلك بسبب الصعوبة فى إقامة روابط مباشرة بين ممارسات الإدارة الزراعية والمصادر الملوثة. ولقد استخدمت معظم الدراسات طريقة NRE والافتراض العام الذى يعنى أن أى نظام إدارة له قيم NRE منخفضة (كميات مرتفعة من النتروجين غير الممتص)، إلى جانب قدرته على أن يؤثر فى البيئة تأثيراً عكسياً، فإن هذا النظام يحتاج إلى تحسينات. وفى حالة تيسر قياس مباشر للتلوث بالنتروجين (مثل تركيزات عالية للنترات فى الآبار) فى منطقة يسودها النظام السابق، تزداد الضغوط كثيرا لتعديل أو لتحسين هذا النظام. ويعتبر استخدام سماد الدواجن فى إنتاج المحاصيل فى شبه جزيرة دلمارڤا (ديلاوير – ماريلاند – ڤيرجينيا) مثالاً لهذا السيناريو، حيث أوضحت نتائج فحص الآبار تلوثاً واسع الانتشار بالنترات لآبار المياه الجوفية الضحلة. وأراضى المنطقة خشنة القوام وجيدة الصرف، والمطر غزير (حوالى ١٠٠سم فى السنة)، ويتزايد استخدام الرى العلوى. وتحتوى المنطقة أحد أهم

جدول ٤ – ٨ القيم الممثلة لكفاءة استخدام الذرة للنتروجين.

معدل النتروجين (كجم / هكتار)	معاملات الدراسة	وكفاءة استخدام النتروجين (٪)
ديلاوير	سماد الدواجن	نترات أمونيوم
٨٤* (١٠٧)**	٥٠	٦٢
١٦٨ (٢١٤)	٣٣	٥٧
٢٥٢ (٣٢١)	٣٤	٥٠
ماريلاند	حد أدنى من الحراثة	حراثة عادية
٩٠*	٥٣	٦٧
١٨٠	٥٣	٥٢
٢٧٠	٥٣	٣٨
ڤيرمونت	سماد ماشية اللبن + نترات أمونيوم	نترات أمونيوم فقط
صفر* (٢٤٣)**	٤١	—
٥٦ (٢٤٣)	٣٥	٩٧
١١٢ (٢٤٣)	١٨	٩٣
١٦٨ (٢٤٣)	١٦	٦٨
ويسكونسن	حمأة المجارى – موقع (١)	حمأة المجارى – موقع (٢)
٣٤٠ **	١٧	٢١
٦٨٠	١٩	١٧
١٣٦٠	١٢	١٠
٢٧٢٠	٩	٦

(*) معدلات نترات الأمونيوم المضافة.

(**) كمية النتروجين الكلى المضافة فى السماد الحيوانى أو الحمأة.

ملاحظة: راجع تعريف كفاءة استخدام النتروجين فى القسم ٤ – ٤ – ١.

(Sims, 1987, Meisinger et al., 1985, Jakola, 1992, and Kelling et al ., 1977.)

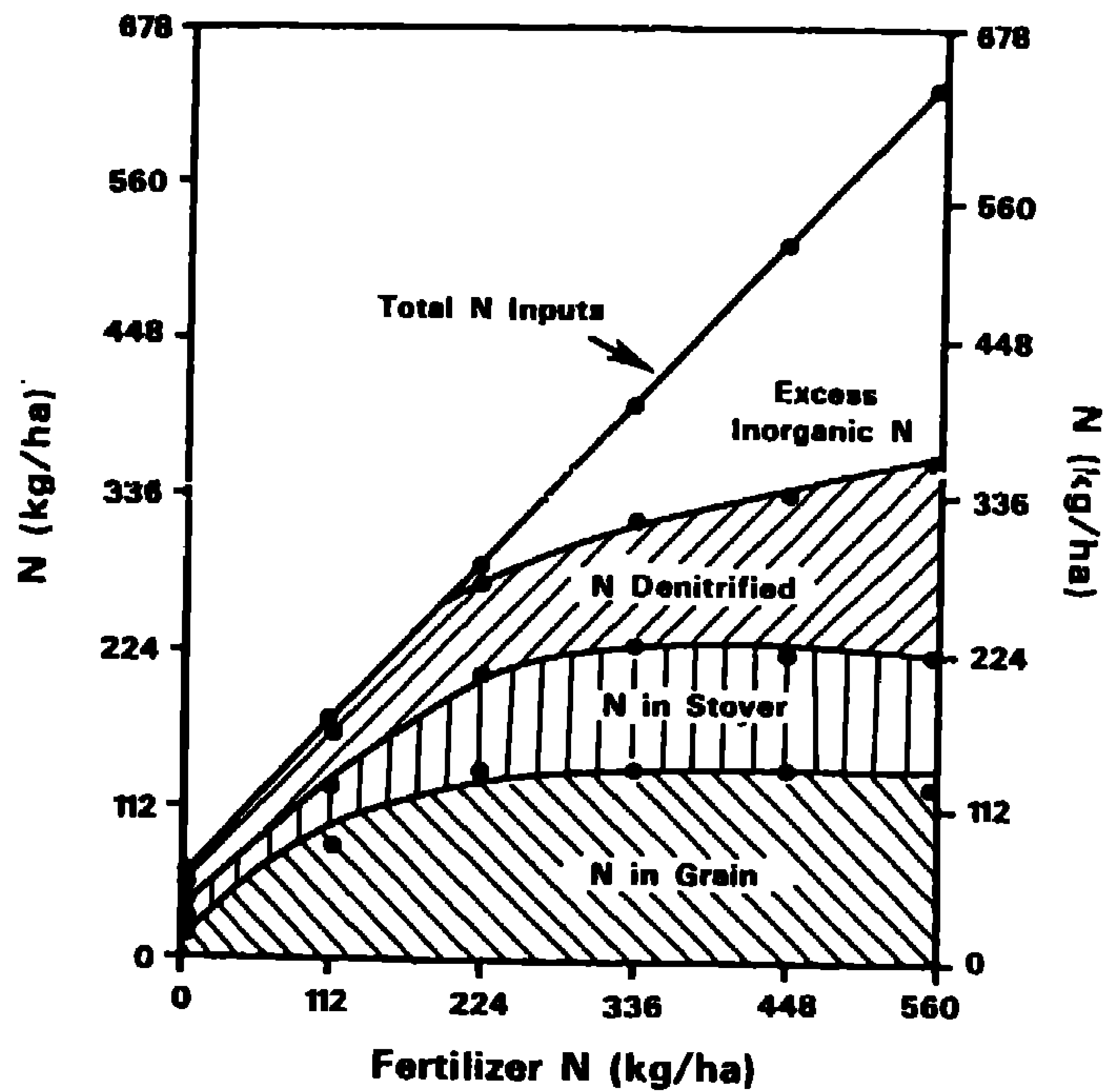
الصناعات المركزة للدواجن فى العالم، وتسود فيها زراعة المحاصيل التى لها إحتياجات نتروجين عالية (مثل الذرة، القمح، الشعير). وأوضحت الدراسات المعملية تحول نتروجين سماد الدواجن بسرعة إلى نترات فى معظم الأراضى، وأوضحت دراسات الحقل على محصول الذرة المروى أن قيم NRE تراوحت من٢٠ - ٥٠٪، كما أوضحت دراسات مراقبة الآبار فى الحقول المسمدة أن تركيزات النترات تزيد عن المستويات المسموح بها لجودة مياه الرى حاليا (٢٠ ملليجرام نتروجين نتراتى فى اللتر). وبالرغم من أنه معروف أن المصادر الأخرى، وبصفة أساسية أسمدة النتروجين وخزانات المخلفات الآدمية فى الريف، ساهمت فى تلوث المياه الجوفية بالنترات، فإن قدرة الزراعة المعتمدة على الدواجن، فى المنطقة على تلوث المياه السطحية والجوفية أدت إلى عمل جهود مكثفة بواسطة الوكالات الاستشارية والتشريعية وذلك لكى تُحسّن إدارة نتروجين المحصول بصفة عامة، وإدارة السماد العضوى، بصفة خاصة.

وبالاختصار، يتطلب تحسين كفاءة إدارة النتروجين أسلوبًا متكاملاً على مستوى الإقليم فى الغالب. ولقد جمعت الأساليب التقليدية التى تهدف إلى تغيير المسائل الأساسية لدورة النتروجين (جدول ٤ - ٩) بين: (١) تطوير وتطبيق البحوث التى تركز على **أحسن ممارسات الإدارة (BMPs)** لغرض صيانة الأراضى، (٢) إدارة العنصر الغذائى عن طريق الأبحاث طويلة المدى. وحديثًا، رفعت الضغوط البيئية المكثفة - لمقاومة التلوث بالنتروجين - شعار السيطرة الإجبارية والقانونية على استخدام السماد النتروجينى. فتقوم كثير من الولايات التى بها إمكانيات مركزة على الإنتاج الحيوانى بإعادة فحص مقياس الإدارة اللازم لتحسين كفاءة استخدام النتروجين، مع الاعتراف بأن الممارسات التى تجعل امتصاص النتروجين مثاليا على مستوى الحقول الفردية قد تكون قليلة الاستخدام إذا كانت العناصر الغذائية الناتجة فى المزرعة تزيد عن قدرة المزرعة لاستخدام هذه العناصر. وتقدم الأقسام التالية أمثلة محددة لتقنيات تستخدم لتحسين كفاءة استخدام النتروجين فى الزراعة وفى النظم غير الزراعية على مستوى الحقل، ونظرا لأن التلوث بالنتروجين يعكس محصلة التأثيرات الناتجة من حقول زراعية كثيرة وكذلك أيضا تأثير المناطق الحضرية، وأماكن التخلص من المخلفات البلدية والصناعية، ومشاريع استصلاح الأراضى، ونظم خزانات الصرف

الصحى الريفية ، فإنه من المهم أن ندرس هذه الممارسات من وجهة نظر أوسع، وندمجها فى برامج ادارة النتروجين ذات المجال الأكبر.

٤ – ٤ – ٢ إدارة النتروجين فى الزراعة :

تبدأ الأساليب المتبعة لإدارة النتروجين فى نظم زراعة المحاصيل، عادة، بتقدير احتياجات المحصول من النتروجين عند تحقيق محصول واقعى. وتعتمد ممارسات إدارة السماد المعدنى أو المخلف العضوى، المعتمدة على ظروف التربة المحلية والظروف المناخية، بعدئذ، على أن تخفض، إلى أدنى حد، الكميات الزائدة للنتروجين المضاف، وذلك لتفادى فقد النتروجين (عدم كفاءة النظام) والحصول على محصول مثالى، وترتبط



شكل ٤ – ١٤ تأثير معدل النتروجين على مصير النتروجين السمادى.
(Boswell et al., 1985.)

كمية النتروجين التكميلية اللازمة لمحصول ما بقدرة النتروجين الزائد فى التربة بواسطة المعادلة التالية، وعادة يشار إليها بـ **«ميزانية نتروجين التربة»**:

$$N_f = [N_{up}] - [N_{som} + N_{na}] + N_{ex} \qquad (4 - 20)$$

حيث:

N_f = كمية النتروجين اللازم من السماء أو المخلف، ... الخ.

N_{up} = احتياجات المحصول من النتروجين لتحقيق المحصول المرغوب.

N_{som} = النتروجين المضاف من معدنة مادة، وبقايا المحاصيل، والإضافات السابقة للمخلفات العضوية، .... إلخ.

N_{na} = الإضافات الطبيعية للنتروجين (المطر الساقط، مياه الرى، الترسيب الجاف).

N_{ex} = النتروجين الزائد المفقود عن طريق عكس التأزت، والإزالة، والغسيل، أو التطاير؛ وهو يختلف تبعاً لكفاءة نظام التربة – النبات.

وتخفيض N_{ex}، إلى أدنى حد، بناء على ذلك، يتطلب منا أن لا نبالغ فى تقدير قدرة المحصول النباتى لأرض معينة، وبالتالى، لا نبالغ فى تقدير كل من N_{up}، N_f أى احتياجات المحصول من النتروجين وكمية السماد اللازم لتحقيق محصول واقعى مرغوب. ويجب علينا أن لا نبخس قدرة الأرض أو المصادر الطبيعية الأخرى للنتروجين (N_{som} ، N_{na}) فى توفير نسبة معنوية من N_{up}. ولسوء الحظ، توجد أمثلة كثيرة يحدث فيها النوعان من الأخطاء، وكثيرا ما تؤدى إلى تلوث المياه الجوفية بالنترات. وتعتبر مسألة الإضافة الزائدة من النتروجين معقدة بسبب التقديرات الزائدة فى التفاؤل للمحصول المتوقع، وأيضا بسبب أن طبيعة الأسمدة المعدنية النتروجينية رخيصة الثمن نسبيا؛ وعندما يتضمن الأمر الأسمدة العضوية والحمأت، نجد هناك ضغوطا مستمرة للتخلص من هذه المخلفات العضوية، بصرف النظر عن احتياجات المحاصيل الحقيقية من النتروجين. ويوضح شكل ٤ – ١٥ العلاقة بين المحصول المستهدف غير الواقعى وحدوث تلوث للمياه الجوفية بالنترات، وذلك فى عملية إنتاج الذرة المروية فى نبراسكا. كما يوضح جدول ٤ –١٠حدوث عدم اتزان خطير فى ميزانية النتروجين على مستوى الإقليم بسبب الزراعة المعتمدة على صناعة الدواجن فى ديلاوير.

جدول ٤ – ٩ ملخص أساليب أحسن إدارة BMPs لكفاءة استخدام النتروجين.

أسلوب الإدارة	أمثلة وتعليقات
إدارة التربة، والنبات، والمياه:	
– صيانة التربة والمياه.	الحرث الكنتورى، المصاطب، الحرث البسيط، الرى المحسّن؛ وجميعها تعمل على تقليل الانجراف، وسريان مياه الأمطار، وغسيل النتروجين.
– تعاقب الزراعة ومحاصيل التغطية.	تعاقب (تناوب) محاصيل بقولية وغير بقولية لتقليل الاحتياج للأسمدة النتروجينية؛ فيمكن للمحاصيل البقولية ومحاصيل الأغطية الشتوية أن تزيل (إلى درجة كبيرة) النتروجين المتبقى فى التربة؛ كما تشمل الفائدة العائدة من دورات المحاصيل الثبات الاقتصادى، ومقاومة الانجراف، وتقليل ضغط الآفات والأمراض.
– إدارة مستجمع الأمطار.	صيانة الأراضى والمياه وإدارة العنصر الغذائى مدعمة ببرامج تعليمية واسعة الانتشار، المساهمة فى التكاليف، إرشادات وتشريعات عن الرى واستخدام السماد.
– إدارة العنصر الغذائى:	
– اختبار التربة والنبات والمخلف.	التطورات الجديدة فى اختبارات التربة والنبات (مثل: اختبار قبل الزراعة للنترات فى التربة PSNT، مقياس الكلوروفيل فى الورقة) تعطى فرصة لزيادة كفاءة استخدام الأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية.

- توقيت وطريقة الإضافة.	تجزئة أو تقسيم النتروجين المضاف، التسميد مع مياه الرى، استخدام أسمدة بطيئة التيسر، استخدام الحقن والوضع العميق لأسمدة النتروجين المتطايرة؛ ويؤدى جميع مسابق إلى تحسين التزامن (توفيق التوقيت) بين تيسر النتروجين وامتصاصه بواسطة النبات.
- تقنية السماد والمخلف.	تقوم عملية التأزت ومثبطات إنزيم اليورييز بتحسين امتصاص النتروجين السمادى؛ كما أن تحويل المخلف إلى سماد عضوى صناعى (كمبوست)، والتصبيغ يؤدى إلى تثبيت النتروجين فى المخلفات العضوية، وينتج مواداً يمكن تناولها وإضافتها بكفاءة أعلى.
التغيرات الأساسية فى الزراعة: - الإجازة القانونية.	القوانين، وليست الإرشادات، الكمية الإجبارية للنتروجين وتوقيت إضافته من الأسمدة التجارية أو المخلفات العضوية؛ كما تتطلب ميزانية العنصر - على مستوى المزرعة - من المزارعين أن يجدوا استخدامات بديلة للأسمدة الحيوانية الزائدة، وإن معظم الأساليب فى الوقت الحاضر اختيارية، ولكن الإجازة القانونية المؤثرة فى إدارة العنصر الغذائى (وليست الإرشادية) قد نُفِّذت فى ولايات عديدة.
- التقدم فى علم الوراثة.	التغيرات الوراثية من أجل ادخال القدرة الحيوية لتثبيت النتروجين فى المحاصيل غير البقولية (الذرة، القمح)؛ زيادة قدرة المحاصيل البقولية على تثبيت النتروجين؛ كما

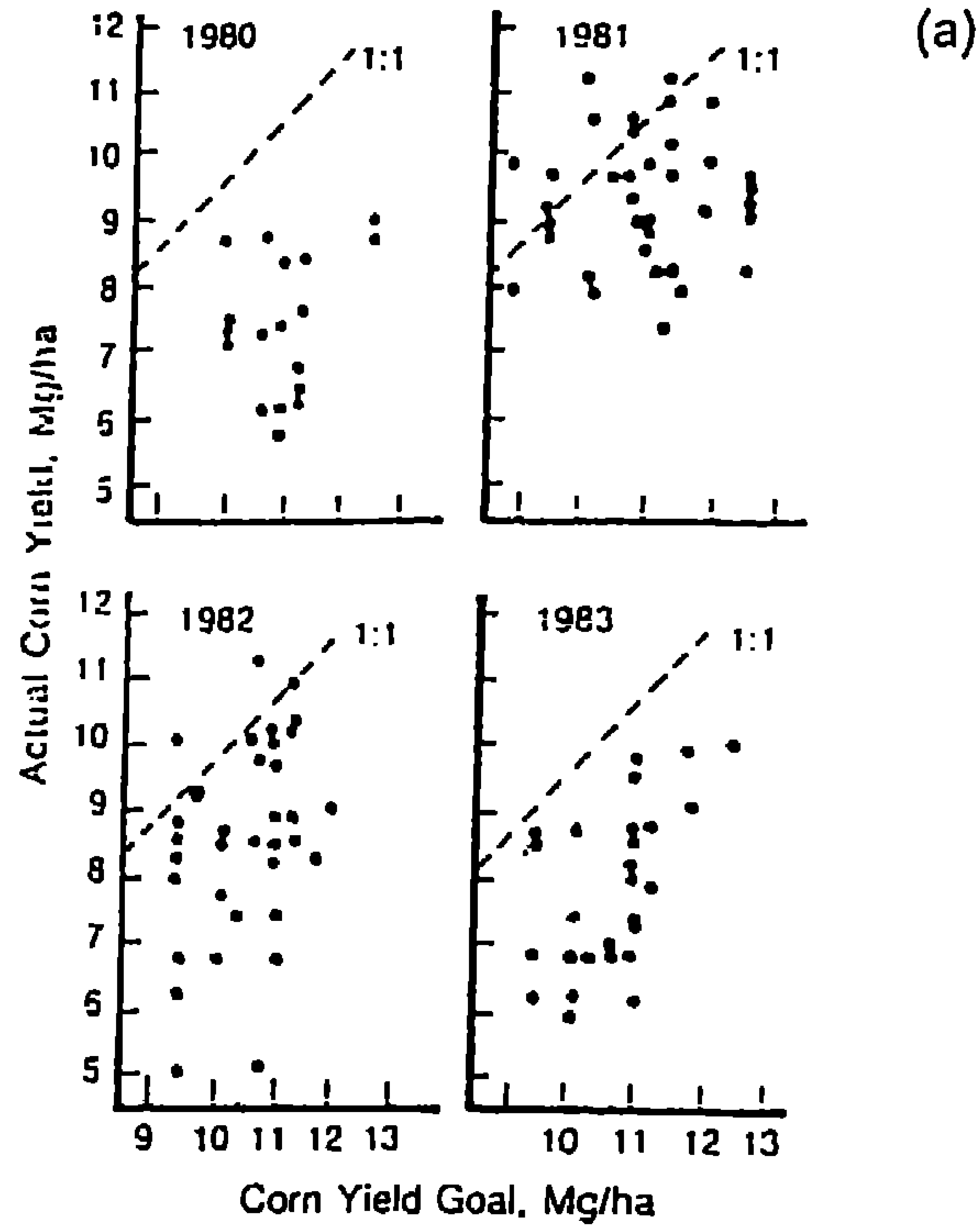
	أن التقدم فى العلاج الوراثى للنباتات جعل هذه الأهداف البحثية لتثبيت النتروجين ذات جدوى عملية.
- نظم الزراعة.	زيادة استخدام (زراعة) النباتات البقولية، تقليل إنتاج محاصيل الحبوب؛ زيادة زراعة البقوليات يؤدى إلى تخفيض استخدام السماد النتروجينى، إلا أنه على الأرجح يؤثر فى اقتصاديات الإنتاج؛ العادات الغذائية للمستهلكين؛ الضغوط للتحول إلى زراعة مستدامة بمدخلات قليلة مع اعتماد أقل على الأسمدة التجارية والمبيدات؛ وتحتاج الزراعة ذات المدخلات القليلة إلى عمالة مكثفة، فى حين أن تيسر عمالة المزرعة تعتبر غير كافية فى مجتمعات حضرية كثيرة؛ فقد الأراضى الزراعية بسبب التحضر أوالتصحر؛ وحيث أن إنتاج الغذاء يعتمد بدرجة عالية على كمية الأراضى الصالحة للزراعة، فإن الفقد الكبير فى المساحات المزروعة يؤدى إلى زيادة الضغوط لتحقيق إنتاج مرتفع من المحاصيل من مساحة الأراضى المتبقية، وهذا يتطلب مدخلات أكثر، ويزداد احتمال التلوث غير المعروف مصدره. وكثير من المناطق المتحضرة ومناطق الزراعة التى بها إنتاج حيوانى مكثف لايتوافر فيها مساحات كافية من الأراضى لاستخدام المخلفات العضوية التى تنتجها هذه المناطق.

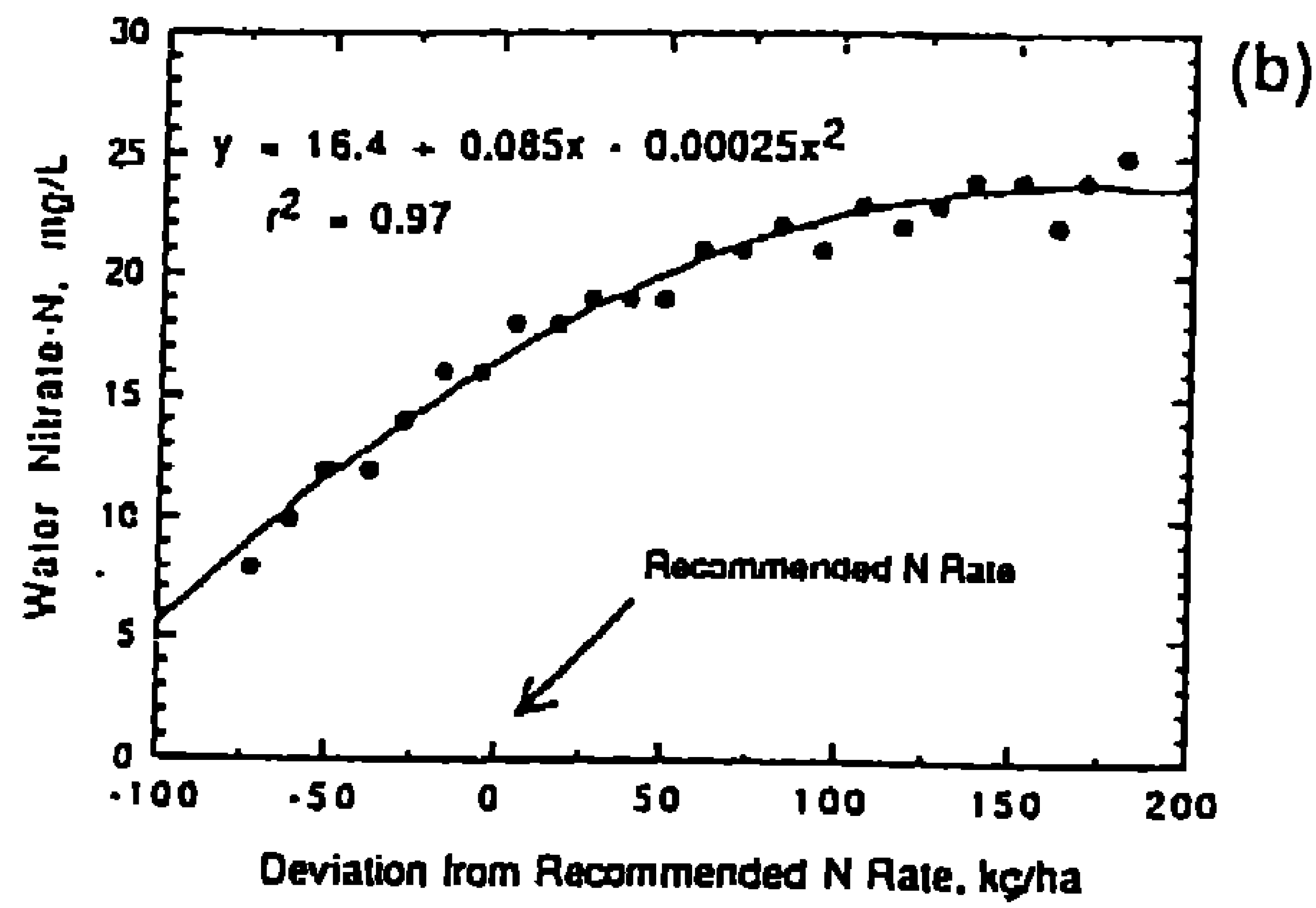
(Keeney, 1982.)

وبالإضافة إلى التقديرات المبالغ فيها لـ N_f، فتوجد مشكلة أخرى خطيرة لكفاءة استخدام النتروجين وهى الفشل فى تطوير اختبارات موثوق فيها لتقدير نتروجين التربة الميسر، والنتروجين المضاف فى المخلفات العضوية حتى يتمكن المزارعون أن يضبطوا بدقة معدلات السماد النتروجينى لكى تُكمِّل ماتمده التربة ومحسنات التربة الأخرى. ولا يعزى النقص فى طرق اختبارات النتروجين إلى التقصير فى الجهود البحثية، ومع ذلك، فقد حدث تقدم كبير فى مجال اختبارات النتروجين فى التربة والنبات فى الآونة الأخيرة.

إن أى اختبار دقيق للتربة لعنصر النتروجين يظل هدفا بعيدا ومراوغا لعلماء الأراضى. كما أن طبيعة دورة النتروجين المتغيرة والمعقدة وحساسيتها الزائدة للعوامل المناخية غير المتوقعة، مثل درجة الحرارة وسقوط الأمطار، جعلت الأمر صعبا فى استخدام مستخلصات كيماوية لتقدير تيسر النتروجين قبل الزراعة، كما هو الحال، عادة، مع العناصر الغذائية الأخرى (مثل الفوسفور، البوتاسيوم، الكالسيوم، المغنسيوم، المنجنيز، النحاس، الزنك). كما توجد مشاكل مشابهة تمنع استجابة اختبارات التربة السريعة للنتروجين الميسر فى المخلفات العضوية. وللاختبارات المتبقية للنتروجين النتراتى فى التربة تاريخ من النجاح فى أراضى المناطق الجافة، ولكن ليس لها نفس النجاح فى أراضى المناطق الرطبة. وفى عام ١٩٨٤ حدث تقدم كبير فى اختبارات نتروجين التربة، أدى إلى حدوث تحسن ملحوظ فى كفاءة استخدام النتروجين لبعض المحاصيل الزراعية. إن اختبار قبل الزراعة للنترات فى التربة والمسمى (PSNT)، تمَّ ابتكاره وتقويمه، فى البداية، بواسطة **F.R. Magdoff** بجامعة فرمونت، وذلك ليحل مشكلة التسميد الزائد للقمح بالنتروجين فى شمال شرق الولايات المتحدة، وبصفة خاصة فى الحقول التى لها تاريخ فى استخدام الأسمدة العضوية والبقوليات. ولاختبارPSNT أربعة مبادئ أساسية، يمكن تلخيصها كما يلى:

(١) كل النتروجين السمادى (المعدنى) للذرة يجب أن يضاف بالسرسبة بجانب عيدان الذرة عندما يبدأ النبات الفترة التى يحدث فيها الامتصاص الأعظم للنتروجين، فيما عدا كمية صغيرة تضاف عند الزراعة بالسرسبة فى هيئة خطوط ؛





شكل ٤ – ١٥ (أ) مقارنة بين محول الذرة المستهدف بواسطة المزارعين والمحصول الفعلى الذى تم الحصول عليه. يوضح الخط المتقطع تناسق بنسبة ١:١ بين المحصول المستهدف والمحصول الفعلى. (ب) تأثير الانحراف عن معدل النتروجين الموصى به على تركيزات النترات فى المياه الجوفية فى نبراسكا. (Hergert, 1987, and Schepers et al. 1991.)

جدول ٤ – ١٠ ميزانية النتروجين للزراعة المعتمدة على الدواجن فى ولاية ديلاوير.

المحصول	المساحة (هكتار)	احتياج N السنوى (كجم / محصول)	مصدر النتروجين	كمية النتروجين السنوية الميسرة (كجم / مصدر)
الذرة	٦٩٦٠٠	٩٨٠٠٠٠٠	سماد الدواجن	٧٨٥٠٠٠٠
فول الصويا	٨٠٦٠٠	صفر	أسمدة تجارية	١٩٣٥٠٠٠٠
القمح	٢٤٣٠٠	٢٢٠٠٠٠٠	مخلفات أخرى	غير مُوثّق
الشعير	١١٠٠٠	١٠٠٠٠٠٠		
غيرها	٣٢٤٠٠	٣٦٠٠٠٠٠		
المجموع	١٧٩٠٠٠	١٦٦٠٠٠٠٠	المجموع	٢٧٢٠٠٠٠٠

لاحظ أن ميزان النتروجين على مستوى الولاية بزيادة قدرها ١٠٦٠٠٠٠٠ كجم/ ولاية/ السنة أو حوالى ٥٠ كجم / هكتار / السنة.

(٢) تعتبر ظروف التربة والظروف المناخية قبل وقت أخذ العينات ضمن العوامل المؤثرة فى تيسر النتروجين من التربة، ومن بقايا المحاصيل، ومن الإضافات السابقة للمخلفات العضوية ؛

(٣) يمكن أن يحدث تغير فى حالة العينة السريعة المأخوذة للاختبار المعملى فى مدة أقل من ١٤ يوم.

(٤) لا يأخذ المزارعون، عادة، عينات تربة على أبعاد أكثر من ٣٠سم. ولقد تم تقويم أرقام اختبار PSNT فى أكثر من ٣٠٠ دراسة حقلية فى شمال شرق ووسط غرب الولايات المتحدة، وأثبت نجاحه فى تحديد الأراضى التى بها وفرة من النتروجين (شكل ٤ – ١٦أ). ولقد أمكن التغلب على بعض الصعوبات المنطقية المرتبطة بالحاجة إلى تحليل سريع للعينة عن طريق تطوير أطقم «الاختبارات السريعة»

والإلكترودات الحساسة للنترات التى يمكن استخدامها فى الحقل. وأمور أخرى مشجعة هى نتائج دراســة حديثة باستخدام مقياس كلوروفيل الورقة والتى أوضحت أن هذا القياس الغاية فى السرعة ، والذى يقيس اخضرار الورقــة فى الحــقل كان دقيقا مثل PSNT فى تحديد المواقع التى بها وفرة النتروجين (شكل ٤ – ١٦ب). وتوجد وسيلة أخرى جديدة لتقدير كفاية النتروجين لنبات الذرة وهى اختبار النترات فى ساق النبات (شكل ٤ – ١٦جـ). ويستخدم هذا الاختبار التشريحى تركيز النترات فى الجزء السفلى من ساق نبات الذرة عند مرحلة النضج لتحديد الحقول التى أخذت كميات زائدة من النتروجين من الأسمدة المعدنية أو الأسمدة العضوية.

تعتبر تضمينات اختبارات النتروجين هذه مباشرة، ولكنها ليست سهلة. وبالنسبة لمعظم المزارعين يجب أن تؤخذ عينة تربة لتقدير PSNT، واذا كان من الضرورى، فيمكن أن يضاف سماد إضافي عن طريق السرسبة بجانب النباتات. ومع ذلك، فلقد أوضحت الدراســات على الأراضى المحسنة دائما بالمخلفات الحيوانية أنها لا تحتاج بتاتاً أو تحتاج قدراً بسيطا من النتروجين المضاف بجانب النبات Sidedress، حتى فى حالة عدم إضافة سماد عضوى فى السنة الجارية. وهذا موضح فى شكل (٤ – ١٧) حيث يحتوى على مقارنة للمعدلات الاقتصادية المثلى للنتروجين(EON) فى ١١ حقلاً تستخدم أوْ لا تستخدم سماداً عضوياً على مدى تاريخى طويل.

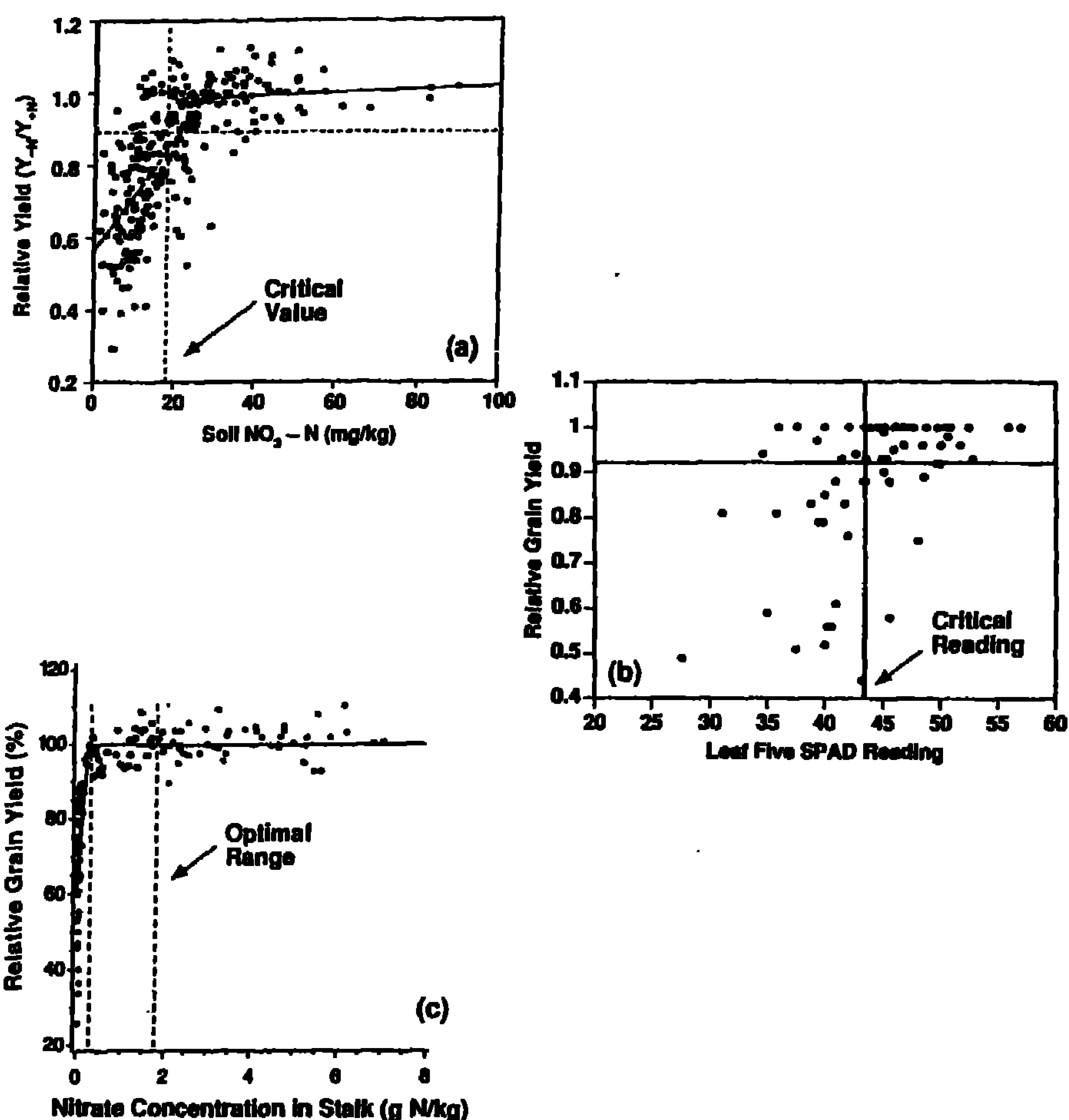
وتعتبر المعدلات الاقتصادية المثلى مشابهة لكفاءة المحصول، ويمكن تعريفها بأنها معدل النتروجين عند أعظم عائد اقتصادى من استثمار نتروجين السماد، معتمداً على تكاليف السماد المفترضة وأسعار المحصول. ولقد كان متوسط المعدلات الاقتصادية المثلى للحقول المسمدة عضويا ٣٤ فى مقابل ١٢٨ كجم/ هكتار فى المواقع غير المسمدة. وإن أكبر صعوبة لأسلوب PSNT – بخلاف المشاكل المنطقية المصاحبة للاختبارات التحليلية السريعة – هى وجود نسبة عالية للأراضى التى اتضح أنها تحتاج كمية أقل – أوْ لا تحتاج بالمرة – من السماد العضوى أو الحمأة عما تنتجه المزرعة أو البلدية. وببساطة يتضح أن هذه الاختبارات أوضحت – خاصة فى الزراعة المعتمدة على الحيوان – إنتاج نتروجين أكثر من المطلوب للعمليات الزراعية، آخذة فى

الاعتبار الأرض الميسرة واقتصاديات معالجة وإضافة المخلف. وهذا يوضح، مرة أخرى، مدى الحاجة إلى إدارة المخلف العضوى بمستوى أكبر، على مستوى الولاية أو المنطقة، مركزة على إعادة توزيع نتروجين المخلف إلى المناطق التى تعانى نقصًا فى النتروجين.

وبمجرد تقدير الحاجة إلى النتروجين الإضافى أو تقدير معدل النتروجين الإضافى، إما من خلال اختبارات التربة والنبات أو من المعرفة العامة للنظام الزراعى، فإن الاعتبارات التالية هى: مصدر النتروجين المستخدم، وطريقة وتوقيت إضافة النتروجين. ويتطلب تعظيم كفاءة النتروجين أن يضاف أحسن مصدر للنتروجين فى الوقت المناسب كلما أمكن ذلك، وفى الغالب يتم ذلك عن طريق الإضافات المتعددة، وكما قلنا فى قسم (٤ – ٣)، فإن الاعتبار الأساسي فى اختيار المصدر النتروجينى فى الغالب اقتصادى، ويبدأ بالتكلفة لكل وحدة نتروجين. كما تشمل العوامل الأخرى التى تؤثر فى التكاليف الكلية للسماد النتروجينى وفرة المادة السمادية (تكاليف النقل)، والتخزين والمعالجة (تكاليف الجهاز وتكاليف الإضافة)، والمتطلبات السمادية النوعية للمحصول (مثل الحاجة إلى سماد مخلوط)، وأى خواص لمادة السماد التى قد تؤثر فى درجة كفاءته، وبالتالى تؤثر فى نظام الزراعة المستخدم. وفى مناطق الزراعة المعتمدة على الحيوان حيث تنتج أسمدة عضوية بصفة دائمة، تظهر تكاليف أخرى مثل الحاجة إلى تحليل السماد العضوى، وتخزينه، ومعالجته (مثل البحيرات الضحلة، الاسطبلات، إمكانيات تحويل المخلفات إلى سماد عضوى صناعى «كمبوست»، وكذلك الحاجة إلى جهاز متخصص لإضافة السماد.

إن اختيار المصدر النتروجينى من النادر أن يفصل عن اختيار طريقة إضافة النتروجين. وتشمل الطرق النموذجية المستخدمة لإضافة الأسمدة النتروجينية: النثر، السرسبة فى خطوط، والحقن، والإضافة مع مياه الرى.

النثر: يشير إلى الإضافات المتجانسة لمادة السماد على سطح التربة، فى صورة حبيبات صلبة أو أقراص أو الرش فى صورة سائل. وقد يظل السماد المنثور بعدئذ على السطح (فى حالة: علف الماشية، المحاصيل غير الحقلية، الأعشاب) أو يدمج مع

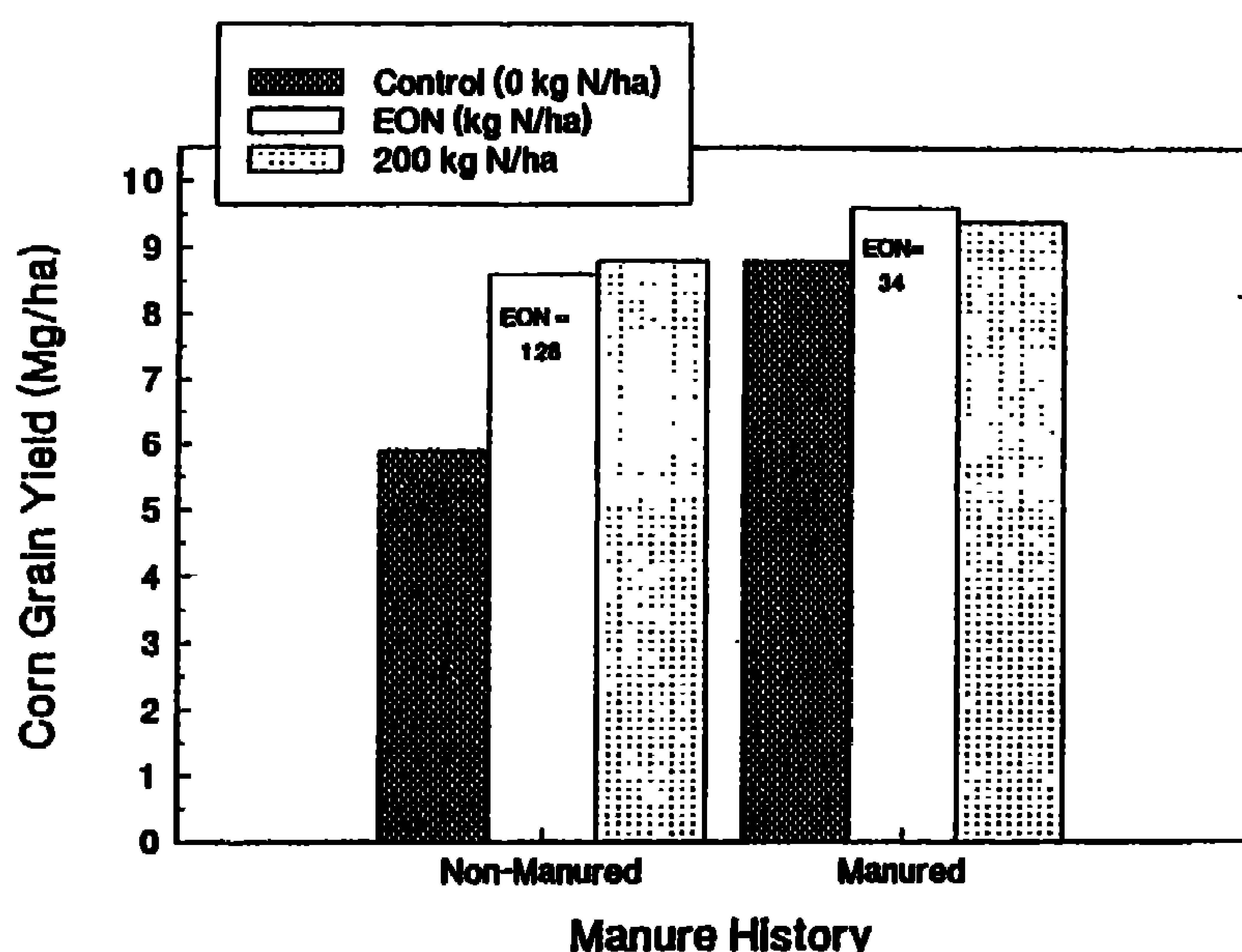


شكل ٤ – ١٦ توضيح استخدام طرق اختبارات التربة والنبات للتعرف على الأراضى الكافية فى النتروجين.(a) المحصول النسبى للذرة (= المحصول فى المعاملة غير المسمدة مقسوماً على المحصول فى المعاملة المسمدة) مع نترات التربة (صفر – ٣٠سم) فى الربيع الأخير. (b) المحصول النسبى للذرة مع قياس الكلوروفيل فى الأوراق فى الربيع الأخير. وتشير SPAD إلى نوع المقياس المستخدم فى القراءة. (C) المحصول النسبى للذرة مع تركيز النترات فى الجزء السفلى للساق عند مرحلة النضج.

(Magdoff et al. 1990, Piekielek and Fox, 1992, and Binford et al. 1990.)

التربة عن طريق عملية خدمة مثل الحرث أو التقليب. والإضافات بطريقة النثر التى تتم لمحصول نامى يطلق عليها «إضافة سطحية» أو «إضافة من أعلى».

السرسبة فى خطوط: هى وضع السماد النتروجينى فى خطوط أو شريط، ويمكن تنفيذه عند الزراعة؛ والمحاصيل التى تزرع على خطوط، وعندما تتم عملية التسميد فى خطوط بعد ظهور النباتات يشار إليها «إضافة جانبية». ويستخدم عادة فى سرسبة أسمدة النتروجين فى خطوط عند الزراعة أسمدة مركبة من الفوسفور والنتروجين N - P كأسمدة «بادئة»، مع وضع السماد ٥سم تحت، ٥سم إلى جانب البذرة، وذلك لتفادى أضرار الملح المباشرة للبادرات الصغيرة. وتعتبر إضافة السماد فى خطوط فى أماكن الزراعة تزويداً استهلاليا بعنصرى النتروجين والفوسفور فى منطقة سهلة المنال بواسطة المجموع الجذرى الحديث، وهى مفيدة، بصفة خاصة، فى



شكل ٤ – ١٧ استجابة محصول الذرة لمعدلات النتروجين المثالية اقتصاديا (EON) فى حقول تتلقى أولا تتلقى أسمدة حيوانية. الأرقام التى فى الأعمدة عبارة عن متوسط المحصول (كجم / هكتار) لجميع المواقع غير المسمدة بأسمدة حيوانية عند المعدل المثالى اقتصاديا.
(Roth and Fox, 1990.)

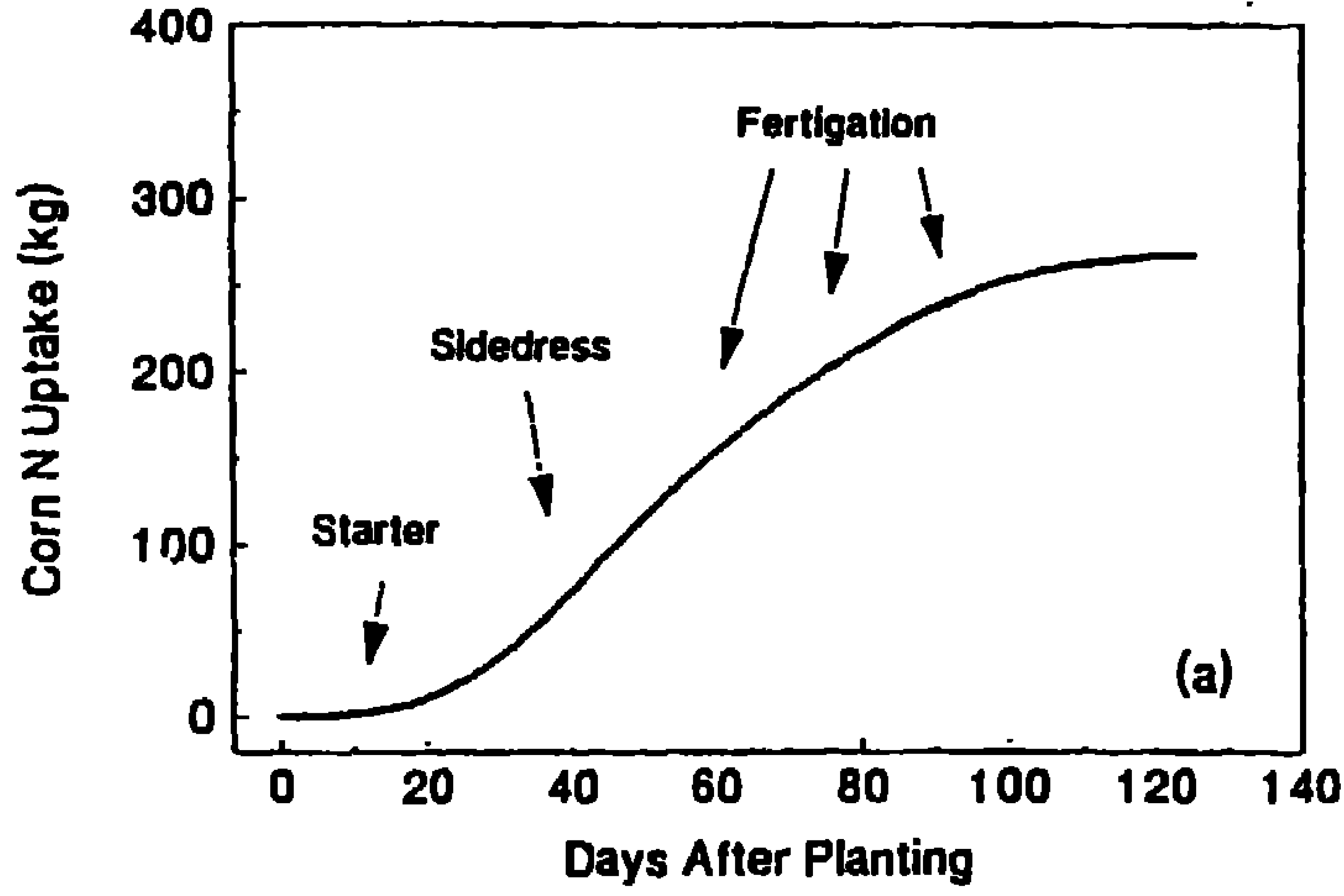
الأراضى التى تزرع بدون حرث، حيث أن درجة حرارة التربة المنخفضة تؤخر نمو الجذور وامتصاص المغذيات. ويمكن تنفيذ إضافات الأسمدة النتروجينية بجانب النباتات عن طريق: الحقن، أو الخطوط السطحية، أو الرش، أو التنقيط.

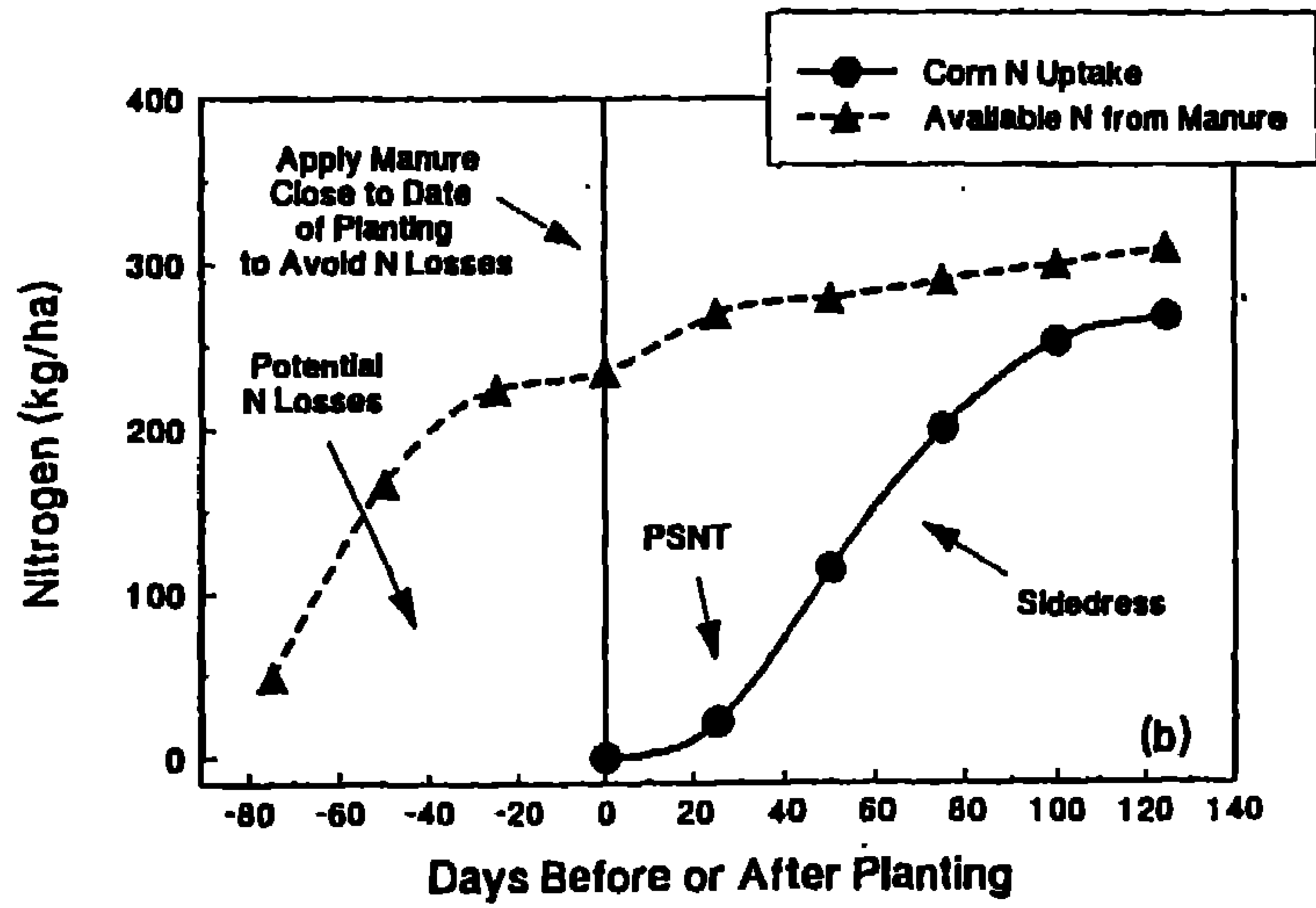
الحقن: هو وضع السماد فى التربة من خلال جهاز إضافة متخصص يوضع تحت السطح، ويشيع استخدامه للأمونيا اللامائية والأسمدة السائلة مثل محاليل اليوريا – أمونيوم – نترات (UAN). وينفذ حقن السماد عادة على أعماق أبعد من أماكن وضعه فى خطوط، وبخاصة مع الأمونيا اللامائية NH_3، التى تتحول إلى غاز بعد الحقن، ويمكن أن تفقد من التربة عن طريق التطاير إذا لم توضع بطريقة صحيحة.

إضافة السماد مع مياه الرى: هو إضافة النتروجين الذائب فى مياه الرى، وهو يختلف عن التسميد الورقى حيث ترش الأسمدة مباشرة على أوراق النباتات. ويوجد عدد محدود فقط من أسمدة النتروجين مناسبة للإضافة مع مياه الرى، وذلك راجع إلى درجة الذوبان والنقاوة العالية المطلوبة لكى تحقق ذوبانًا كاملاً، وتتحاشى انسداد جهاز الإضافة، وتفضل عادة محاليل اليوريا – أمونيوم – نترات عن الأمونيا اللامائية والأمونيا المائية التى لها قدرة تطاير أعلى بدرجة كبيرة. وإضافة السماد مع مياه الرى أكثر استخداماً مع نظم الرى بالرش العلوية أو نظم الرى بالتنقيط.

وبصفة أولية، تعتمد الطريقة المختارة لإضافة مصدر النتروجين العضوى على خواصه الطبيعية. فتضاف المخلفات العضوية الصلبة عادة بواسطة آلات فارشة تسمى فارشات السماد الدوارة، بالرغم من أن التقدم الحديث فى عمليات تصنيع المخلف (مثل عملية التكوير أو التصبيع) أدى إلى مرونة ميسرة فى أجهزة إضافة المخلف. وبالنسبة للمخلفات العضوية السائلة، فهى إما تحقن أو تضاف من خلال نظم مياه الرى، كما يجرى دمج المخلفات العضوية فى الغالب لتلافى جريان المواد الصلبة الغنية بالعناصر الغذائية أو المواد العضوية الذائبة مع مياه الأمطار إلى الأنهار والبحيرات.

إن أحد الجوانب الحرجة الأكثر أهمية لكفاءة استخدام النتروجين هو توقيت إضافة النتروجين بالنسبة لامتصاصه بواسطة النبات. ومعظم النباتات، وخصوصا





شكل ٤ – ١٨ (a) توضيح عام يمثل نموذج امتصاص النتروجين بواسطة نبات الذرة؛ وهو يوضح الارتباط الكفء لتقنيات إضافة السماد النتروجيني.

(b) نموذج امتصاص النتروجين بواسطة نبات الذرة المرتبط مع المعدل النموذجي لانطلاق النتروجين من سماد الدواجن، وهو يوضح احتمال فقد النتروجين من إضافات السماد الحيواني في أوقات غير مناسبة، وتوقيت إختبار التربة في النترات قبل الزراعة، مقارنة بإضافة النتروجين في خطوط بجانب عيدان الذرة.

النباتات الحولية، لها نماذج معروفة جيدا لتراكم النتروجين داخلها، كما هو موضح لنبات الذرة فى شكل ٤ – ١٨. وتصبح بذلك تقنيات إضافة السماد الأكثر كفاءة هى التى تُوصِّل النتروجين التكميلى فى توقيت متزامن مع امتصاص النتروجين، وخاصة فى الأراضى الحساسة بدرجة عالية لفقد النتروجين. وفيما يلى ترتيب عام للكفاءة النسبية لمعظم تقنيات إضافة النتروجين:

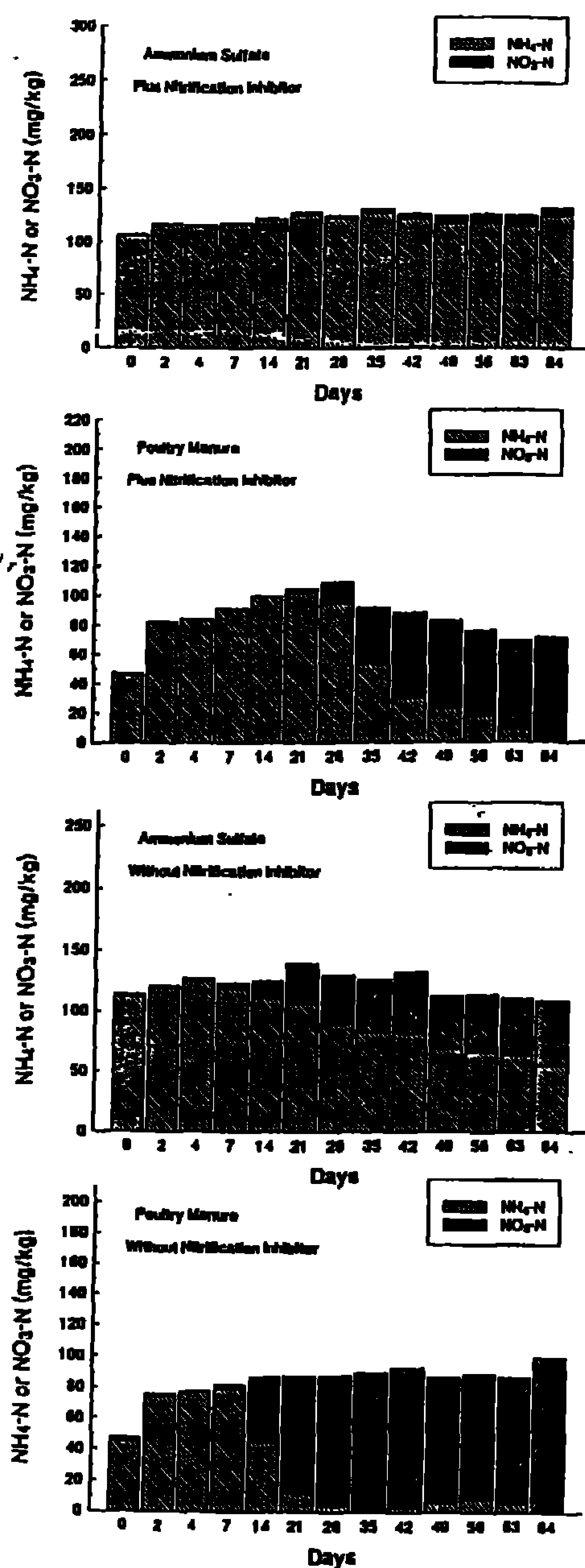
الإضافة مع مياه الرى > السرسبة فى خطوط جانبية > النثر السطحى.

وتنتج أعظم كفاءة لإضافة النتروجين عندما يتم توحيد تقنيات عديدة للإضافة. وبالنسبة لنبات الذرة المروى يجب أن يأخذ كمية بسيطة من نتروجين السماد المعدنى، تضاف عند الزراعة عن طريق السرسبة فى خطوط جانبية، وهى تمد النبات بحوالى ٣٠ – ٤٠٪ من احتياجاته من النتروجين فى الحال وقبل الفترة التى يكون فيها امتصاص النتروجين أسرع مايمكن، ويضاف باقى احتياج المحصول من النتروجين عن طريق تقنيات إضافة السماد مع مياه الرى (شكل ٤ – ١٨أ). وفى الحالة المشابهة لذلك التى تستخدم مخلفات عضوية، فهذه يجب أن تتضمن معدل إضافة منخفضاً من السماد العضوى (معدل نتروجين أقل من المثالى) فى فترة زمنية قصيرة قبل الزراعة، يليها استخدام PSNT لتحديد احتياجات النتروجين الذى يضاف بالسرسبة فى خطوط جانبية (شكل ٤ – ١٨ب). ومع ذلك، فهناك حالات كثيرة، حيث توجد قيود خطيرة بالنسبة للتوقيت المناسب لإضافة مصدر النتروجين. ولعل أحد أهم هذه القيود هو كمية الوقت اللازم للإضافات المتأخرة أو الإضافات المتعددة للنتروجين خلال جزء موسم نمو النبات عندما يجب تأدية عمليات أخرى كثيرة فى الوقت المناسب، بما فى ذلك الحرث، والزراعة، وإضافة مبيد الحشائش، وحصاد المحاصيل الأخرى، وتركيب نظم الرى. وكمثال يفضل كثير من المزارعين إضافة النتروجين من السماد المعدنى أو العضوى خلال شهور سقوط المطر أو خلال شهور الشتاء، وذلك بسبب توفر كمية أكبر من الوقت الحر المتاح خلال هذا الجزء من السنة. ومع ذلك، فإن الكفاءة المنخفضة

لامتصاص النتروجين خلال هذه الفترات، بسبب الفقد بالغسيل وبعملية عكس التأزت، الذى يحدث قبل نمو النباتات فى فصلى الربيع والصيف - يجعل هذا أمراً غير مرغوب فيه، سواءً من الناحية الاقتصادية أو البيئية، كما يفضل إضافة الأسمدة العضوية، غالبا، خلال موسم سقوط المطر أو موسم الشتاء، وذلك لأن طبيعة التربة الجافة أو المجمدة فى هذا الوقت يمكن أن تقلل كمية التضاغط والإزالة التى تسببها مرور المعدات الثقيلة فى الحقول مقارنة بظروف الربيع الرطبة.

إن السبب الأساسى الذى يجعل الإضافات المسبقة بوقت بعيد قبل امتصاص النبات للنتروجين أمرا غير مرغوب - هو المعدل السريع للتأزت فى معظم الأراضى. وبالتالى فعادة تتحوّل الأمونيوم المضافة فى معظم الأسمدة المعدنية أو الأسمدة الحيوانية فى التربة إلى نترات خلال فترة قصيرة من الزمن، وهذه تخضع للفقد بالغسيل أو بعكس التأزت قبل بداية امتصاص النبات. ولعل أحد الوسائل لتحسين كفاءة استخدام النتروجين هو تأخير عملية التأزت باستخدام مثبطات كيماوية تضاف مع الأسمدة النتروجينية أو المخلفات العضوية، كما هو موضح فى شكل (٤ - ١٩). ولقد وجد أن بعض الكيماويات مثل النترابيرين والثيوكبريتات تثبط نشاط كائنات التأزت، وتُبقى على النتروجين فى صورة أقل قابلية للغسيل، أى فى صورة أمونيوم ، وتزيد امتصاص النبات للنتروجين. كما أن مصادر النتروجين بطيئة التحلل تحقق نفس الغرض عن طريق التغليف الطبيعى للأمونيوم داخل راتنج، أو شمع، أو التغليف بالكبريت، وهذا يؤخر ذوبان حبيبة السماد وبالتالى يؤخر عملية التأزت.

ويمكن تحسين كفاءة استخدام النتروجين بوسائل أخرى أيضا، بالرغم من أن المعالجة الميكانيكية العملية لآليات فقد النتروجين يمكن أن تكون صعبة ومكلفة، وقد تزيد من أحد صور الفقد بينما تقلل صورة أخرى. وإن استخدام ممارسات الحرث بغرض صيانة الأراضى ينتظر أن تقلل فقد النتروجين بالإزالة والسريان مع ماء المطر، كما أن تقليل حركة ماء المطر السارى فى الحقل، تؤدى إلى زيادة الرشح، وبالتالى يزداد غسيل النترات وكذا عملية عكس التأزت. وأيضا تُقلّل الإضافات السطحية للمخلفات من حدوث تلامس بين التربة والمخلف وتسرع من جفاف المخلف، مشجعة



شكل ٤ – ١٩ تأثير مثبط التأزت (الثيوكبريتات) على معدل تأزت سماد نتروجينى غير عضوى (كبريتات الأمونيوم) وسماد نتروجينى عضوى (سماد الدواجن) (Sallade and Sims, 1992.)

تطاير الأمونيا ولكنها تقلل فى نفس الوقت معدل معدنة النتروجين. كما تشمل أيضا بعض ممارسات الصيانة التى لها القدرة على تخفيض فقد النتروجين ممارسات رى أكثر كفاءة (مثل الرى بالتنقيط عكس الغمر)، واستخدام الزراعة المركبة أو محاصيل أغطية فى الشتاء لكى تحبس النتروجين المتبقى من المخلفات، ونظم صرف مراقبة، وأراضى رطبة صناعية لتشجع عملية عكس التأزت فى المناطق التى على حدود الحقل (حاشية الحقل).

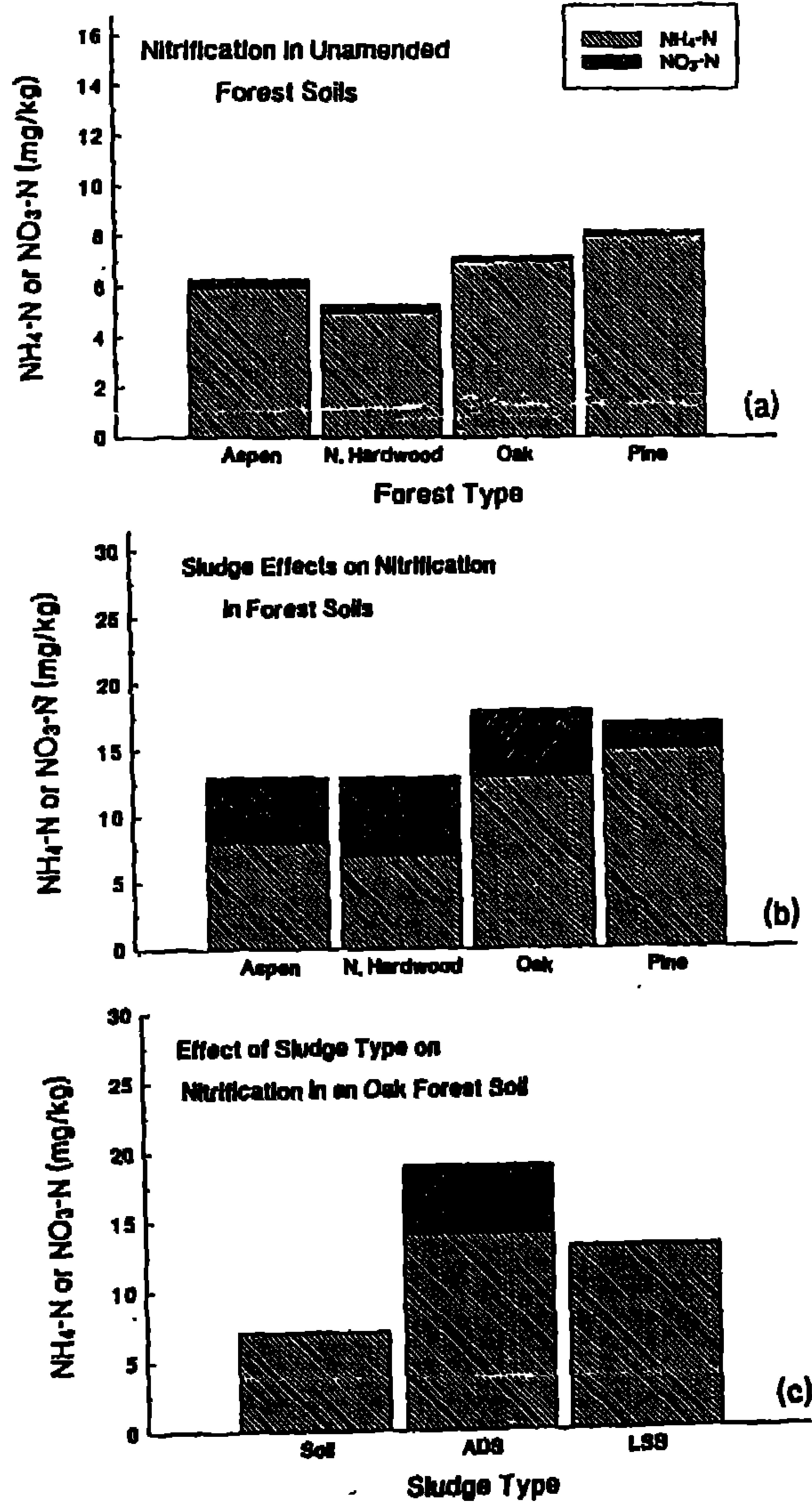
٤ – ٤ – ٣ إدارة النتروجين فى مواقع لا تهدف إلي الإنتاج الزراعي:

تستخدم أسمدة النتروجين المعدنية ومصادر النتروجين العضوية بدرجة كبيرة فى مناطق تختلف كثيرا عن مناطق الزراعة الإنتاجية، ومن أمثلة هذه المناطق: استصلاح الأراضى، وإنشاء الطرق، والبستنة الحضرية والتجارية، والغابات. وكل منطقة من هذه الاستخدامات النهائية لها ظروفها الإجبارية الخاصة بها بالنسبة لكفاءة استخدام النتروجين. فبعض هذه الظروف له علاقة بالاختلافات فى طبيعة دورة النتروجين فى الأراضى المفككة أو المحسنة بدرجة مكثفة، والبعض الآخر له علاقة بالاقتصاد، والسياسة، ومنطقية إدارة التربة – النبات. وعادة تهدف مشاريع الاستصلاح والإنشاء إلى تغطية سطح الأرض بنباتات معمرة قليلة الصيانة، وتحتاج فقط فى البداية إلى استخدام أسمدة نتروجينية معدنية، أو فى الغالب تحتاج إلى إضافات صغيرة وغير متكررة. وتعتبر مناطق البستنة مثل الصوبات، والمشاتل، والحشائش والأعشاب، ونباتات الزينة، فى طبيعتها، مكثفة بدرجة كبيرة، وبسبب العائد النقدى العالى لنباتات هذه المناطق، فإنها تعتمد بغزارة على الأسمدة المعدنية، وفى الغالب، مع قليل من الاهتمام بكفاءة استخدام النتروجين الاقتصادية والبيئية. ويشيع تسميد الغابات بالنتروجين فى صناعة الغابات التجارية، ويمثل هذا حالة متوسطة بين مشاريع الاستصلاح/ الإنشاء ذات العائد المنخفض ومشاريع البستنة التجارية ذات العائد المرتفع.

ويشيع استخدام مصادر النتروجين العضوية فى كل من هذه المواقع غير الزراعية وذلك لعدة أسباب. فالمادة العضوية التى تنتج من الحمأة، والكمبوست، والأسمدة الحيوانية بين الحين والآخر، غالبا، مطلوبة فى مشاريع الاستصلاح وذلك لتحسين الخواص الطبيعية المتدهورة للأراضى المفككة بدرجة كبيرة، وتستخدم الصوبات أوساط نمو «بدون تربة» غنية فى المادة العضوية، وفى الغالب يتم فيها توفير الضوء. وأوساط النمو هذه جيدة التهوية، وذات سعة عالية للاحتفاظ بالرطوبة. ويعتبر كل من هاتين الحالتين استخداماً نهائيًا جيداً للمخلفات العضوية البلدية، مثل كمبوست الحمأة، وذلك لأن فيهما يسود استخدام نباتات ليست ضمن السلسلة الغذائية، وعلى ذلك يقل الاهتمام بتراكم المكونات السامة للمخلف (مثل العناصر الثقيلة).

إن إدارة التربة، والسماد، والنتروجين العضوى فى مواقع استصلاح الأراضى والغابات تبدأ بفهم الاختلافات التى يمكن أن تحدث فى تدوير النتروجين مقارنة بالأراضى المزروعة. ويمكن لهذه الاختلافات أن تكون أساسية أو عملية فى طبيعتها. فعلى المستوى الأساسى، فإن الكائنات الدقيقة المسؤولة عن تحولات النتروجين الهامة مثل المعدنة، التأزت، وعكس التأزت أقل كفاءة، وغير نشطة، أو غير موجودة فى الأراضى ذات الخواص الطبيعية أو الكيماوية المتطرفة (مثل مناطق المناجم عالية الحموضة أو غابات الصنوبر). ومن وجهة النظر العملية، فإن تحسين هذه الأراضى باستخدام السماد المعدنى، أو النتروجين العضوى، أو حتى جرعات صغيرة متقطعة من النتروجين مثل المطر الحامضى يمكن أن يغير نشاط ميكروبات التربة هذه، ويغير طبيعة تدوير النتروجين (وهذا موضح فى شكل ٤ - ٢٠ بالنسبة للتأزت فى الغابات المحسنة بالحمأة، وفى جدول ٤ - ١١ بالنسبة للتأزت وعكس التأزت فى مناطق المناجم الحامضية).

ومن وجهة النظر البستانية، يوجد اهتمام متزايد للأبعاد البيئية لإدارة النتروجين فى الصوب، والمشاتل، ومناطق الأعشاب. ولا تعتمد أوساط النمو «بدون تربة» المستخدمة فى كثير من الصوبات والمشاتل على توفير مقدار كبير من احتياجات النبات من النتروجين، وتعمل بصفة رئيسية كوسط نمو طبيعى. وبدلاً من ذلك، يستخدم العاملون فى هذه الصوبات نظام التسميد من خلال مياه الرى؛ باستعمال محاليل



شكل ٤ – ٢٠ التأزت فى أراضى الغابات. (a) تأثير نوع الغابة على التأزت فى أراضى غابة غير مُحسنة. (b) أراضى الغابة المحسنة بالحمأة تزيد عملية التأزت. (c) نوع الحمأة يؤثر فى درجة التأزت فى غابة أشجار البلوط (ADS = حمأة مهضومة لاهوائيا، LSS = حمأة معادلة بالجير).
(Burton et al ., 1990.)

جدول ٤ – ١١ تأثير استصلاح أراضى المناجم التالفة عالية الحموضة على عمليتى التأزت وعكس التأزت، وعلى أعداد البكتريا المختزلة للنترات.

أرض المنجم التالفة	pH	N المتمعدن* ميكروجم / كجم / ساعة		مقاييس عكس التأزت**	
		أمونيومى	نتراتى	DEA ميكروجم/كجم/ساعة	MPN / جرام
موقع النتوءات العارية:					
غير مُحسنّة	٣٫٨	٢١	٣	٥	٣
محسّنة	٦٫٨	– ١٢	٣٨	١١	١٨٠
موقع Osage :					
غير مُحسنّة	٢٫٧	٣٣	٨	١١	٦
محسّنة	٥٫٢	– ٨	٢١	٦٨	٩٨٠

لاحظ أن موقع النتوءات العارية تم تحسينه بالجير والسماد المعدنى، بينما موقع Osage تمت معالجته برماد الفحم.

* معدل التغير فى النتروجين الأمونيومى والنتراتى فى مواد المنجم التالفة فى دراسة تحضين معملية لمدة ٣٠ يوم.

** معدل عكس التأزت للنتروجين المضاف من مناطق المنجم التالفة مقدراً فى دراسة معملية لنشاط انزيم عكس التأزت (DEA)؛ يُعبّر MPN عن عدد مختزلات النترات الأكثر احتمالاً فى مواد المنجم التالفة اعتماداً على اختبار خماسي الأنابيب.

(Shirey and Sexstone, 1989.)

عالية التركيز فى النتروجين مرتبطة مع مياه الرى الغزير لإزالة الأملاح من الصهاريج، وقد أدى هذا إلى التساؤل عن تأثير مياه الصرف من هذه الإمكانيات على جودة المياه السطحية والجوفية. وتتوافر حاليا برامج تسميد أكثر كفاءة، وهى معدلة للاستجابة لهذه الاهتمامات البيئية. ومن أمثلتها: استخدام الأسمدة بطيئة التيسر، نظم التسميد خلال مياه الرى والمسماة «الجزر والمد» ؛ حيث يتم تدوير المحاليل المغذية ويعاد

استخدامها، ونظم معالجة مياه المجارى فى نفس المكان. وبالمثل، فقد تم تطوير برامج إدارة النتروجين المعدلة لمناطق الأعشاب، وتمَّ تقويتها للاستخدام بواسطة أصحاب المنازل الخاصة وهؤلاء الذين تشملهم إدارة مناطق الأعشاب الصناعية أو مناطق الاستجمام (مثل: مناطق الجولف، الحدائق العامة، والملاعب الرياضية). ويعتبر تلافى فقد النتروجين بالغسيل أو بالسريان مع مياه الأمطار جزءًا فقط من الاهتمام بمناطق الأعشاب؛ فالتسميد الزائد بالنتروجين يزيد من تكرار وحجم الحشائش المقصوصة، وهذه يجب التخلص منها بالدفن فى حفر أرضية. وبسبب أن كثيرًا من البلديات لم تعد تقبل مخلفات الأفنية، فقد تزايدت الضغوط لتلافى استخدام زيادة من النتروجين، ولتدوير النتروجين فى نفس المكان من خلال برامج سليمة لقص الحشائش، أو تغطيتها، أو تحويلها إلى سماد عضوى صناعى (كمبوست).

المراجع :

Alberts, E. E., Neibling, W. H., and Moldenhauer, W. C., Transport of sediment nitrogen and phosphorus through cornstalk residue strips, Soil Sci. Am. J., 45, 1177, 1981.

Berry, J. T. and Hargett, N. L., 1986 Fertilizer Summary Data, National Fertilizer and Environmental Research Center, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, AL, 1986, 132 pp.

Binford, G. D., Blackmer, A. M., and El - Hout, N. M., Tissue test for excess nitrogen during corn production, Agron. J., 82, 124, 1990.

Bock, B. R., Efficient use of nitrogen in cropping systems, in Nitrogen in Crop Production, Hauck, R. D., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1984, 273.

Boswell, F. C., Meisinger, J. J., and Case, N. L., Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers, in Fertilizer Technology and Use, Engelstead, O. P., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1985, 229.

Burton, A. J., Hart, J. B., and Urie, D. H., Nitrification in sludge - amended Michigan forest soils, J. Environ. Qual., 19,609, 1990.

Chae, Y. M. and Tabatabai, M. A., Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes, J. Environ. Qual., 15, 193, 1986.

Deans, J. R., Molina, J. A. E., and Clapp, C. E., Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants, Soil Sci. Soc. Am. J., 50, 323, 1986.

Donahue, R. L., Miller, R. W., and Shickluna, J. C., Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth, 5th ed., Prentice - Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.

Donovan, W. C. and Logan, T. J., Factors affecting ammonia volatilization from sewage sludge applied to soil in a laboratory study, J. Environ. Qual., 12, 584, 1983.

Ellert, B. H. and Bettany, J. R., Comparison of kinetic models for describing net sulfur and nitrogen mineralization, Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 1692, 1988.

Epstein, E., Keane, D. B., Meisinger, J. J., and Legg, J. O., Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost, J. Environ. Qual., 7, 217, 1978.

Fox, R. H. and Hoffman, L. D., The effect of N fertilizer source on grain yield, N uptake, soil pH, and lime requirement in no - till corn, Agron. J., 73, 891, 1981.

Gartley, K. L. and Sims, J. T., Ammonia volatilization from poultry manure - amended soils, Biol. Fert. Soils, 16, 5 - 10, 1993.

Hadas, A., Bar - Yosef, B., Davidov, S., and Sofer, M., Effect of pelleting, temperature, and soil type on mineral N release from poultry and dairy manures, Soil Sci. Sox. Am. J., 47, 1129, 1983.

Hamilton, P. A. and Shedlock, R. J., Are fertilizers and pesticides in the ground Water? A case study of the Delmarva peninsula, U.S. Geological Survey Circular 1080, Denver, CO, 1992.

Hergert, G. W., Status of residual nitrate - nitrogen soil tests in the United States of America, in Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation, Brown, J. R., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1987, 73.

Igo, E. C., Sims, J. T., and Malone, G. W., Advantages and disadvantages of manure analysis for nutrient management purposes, Agron. Abstr., 154, 1991.

Jokela, W. E., Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate, Soil Sci. Soc. Am. J., 56, 148, 1992.

Keeney, D. R., Nitrogen mangement for maximum efficiency and minimum pollution, in Nitrogen in Agricultural Soils, Stevenson, F. J., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1982, 605.

Kelling, K. A., Walsh, L. M., Keeney, D. R., Ryan, J. A., and Peterson, A. E., A field study of the agricultural use of sewage sludge. II. Effect on soil N and P, J. Environ. Qual., 6, 345, 1977.

Magdoff, F. R., Jokela, W.E., Fox, R. H., and Griffin, G. F.,A soil test for nitrogen availability in the Northeastem United States, Commun. Soil Sci. Plant Anal., 21, 1103, 1990.

McInnes, K. J., Ferguson, R. B., Kissel, D. E., and Kanemasu, E. T., Field measurements of ammonia loss from surface applications of urea solution to bare soil, Agron. J., 78, 192, 1986.

Meisinger, J. J., Bandel, V. A., Stanford, G., and Legg, J. O., Nitrogen utilization of corn under minimal tillage and moldboard plow tillage. I.. Four year results using labeled N fertilizer on an Atlantic coastal plain soil, Agron. J., 77, 602, 1985.

Nielsen, E. G. and Lee, L. K., The magnitude and costs of groundwater contamination from agricultural chemicals: a national perspective, Agric. Econ. Rep. No. 576, U.S. Department of Agriculture, Washington, D. C., 1987, 38 pp.

Piekielek, W. P. and Fox, R. H., Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize, Agron. J., 84, 59, 1992.

Rice, C. W., Sierzega, P. E., Tiedje, J. M., and Jacobs, L. W., Stimulated denitrification in the microenvironment of a biodegradable organic waste injected into soil, Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 102, 1988.

Roth, G. W. and Fox, R. H., Soil nitrate accumulations following nitrogen - fertilized corn in Pennsylvania, J. Environ. Qual., 19, 243, 1990.

Sallade, Y. E. and Sims, J. T., Evaluation of thiosulfate as a nitrification inhibitor for manures and fertilizers, Plant and Soil, 147, 283, 1992.

Schepers, J. S., Moravek, M. G., Alberts, E. E. and Frank, K. D., Maize production impacts on groundwater quality, J. Environ. Qual., 20, 12, 1991.

Shirey, J. J. and Sexstone, A. J., Denitrification and nitrate reducing bacterial populations in abandoned and reclaimed mine soils, FEMS Microb. Ecol., 62, 59, 1989.

Sims, J. T., Agronomic evaluation of poultry manure as a nitrogen source for conventional and no - tillage corn, Agron. J., 79, 563, 1987.

Sims, J. T., Murphy, D. W., and Handwerker, T. S., Composting of poultry wastes: implications for dead poultry disposal and manure management, J. Sust. Agric., 2(4). 67 - 82, 1992.

Stanford, G., Frere, M. H., and Schwaninger, D. H., Temperature coefficient of nitrogen mineralization in soils, Soil Sci., 115, 321, 1973.

Stanford, G. and Epstein, E., Nitrogen mineralization - water relations in soils, Soil Sci. Soc Am. Proc., 38, 103, 1974.

Touchton, J. T. and Hargrove, W. L., Nitrogen sources and methods of application for notillage corn Production, Agron. J., 74, 823, 1982.

Vigil, M. F. and Kissel, D. E., Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues, Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 757, 1991.

مراجع مساعدة:

Dahnke, W. C. and Johnson, G. V., Testing soils for available nitrogen, in Soil Testing and Plant Analysis, Westerman, R. L., Ed., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990, 127.

Fedkiw, J., Nitrate Occurrence in U. S. Waters (and Related Questions): A Reference Summary of Published Sources from an Agricultural Perspective, U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C., 1991.

Follett, R. F., Keeney, D. R., and Cruse, R. M., Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1991.

Legg, J. O. and Meisinger, J. J., Soil nitrogen budgets, in Nitrogen in Agricultural Soils, Stevenson, F. J., Ed., Agron. Monogr. 22, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1982, 503.

Power, J. F. and Schepers, J. S., Nitrate contamination of groundwater in North America, Agric. Ecosystems Environ., 226, 165, 1989.

Sommers, L. E. and Giordano, P. M., Use of nitrogen from agricultural, industrial and municipal wastes, in Nitrogen in Crop Production, Hauck, R. D., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1984, 207.

الفصل الخامس

فوسفور التربة والجودة البيئية

٥ – ١ الفوسفور والبيئة :

الفوسفور (P) عنصر ضروری لجميع صور الحياة على الأرض، وليس له تأثيرات ضارة معروفة. وتُركّز الاهتمامات البيئية للفوسفور على تنشيط خصوبته الحيوية فى نظم البيئة المائية ؛ ففى معظم المياه السطحية مثل البحيرات، والبرك، والخلجان يتحدّد نمو الطحالب أو النباتات المائية بالمستويات غير الكافية للفوسفور؛ فيمكن أن تؤدى الإضافات الكبيرة للفوسفور – من مياه مجارى المدن، أو من مياه الأمطار السارية على سطح الأرض، أو من تدفق المياه الجوفية تحت السطحية – إلى إزالة هذه القيود المحددة، وزيادة الكتلة الحيوية المائية إلى مستويات غير مرغبة بيئيا. **وتعرف عملية التشبع الغذائى بأنها زيادة فى حالة خصوبة المياه الطبيعية والتى بدورها تُسبب نُموًا سريعًا للطحالب أو النباتات المائية.** وتعتبر التأثيرات السلبية – المصاحبة لهذه العملية فى المياه السطحية – مهمة سواءً من الناحية الاقتصادية أو البيئية. وكلما ازدادت تدريجيا إضافات الفوسفور للمياه السطحية، فإن الحالة الغذائية للمياه تمرُّ خلال أربع مراحل من كفاية التغذية وهى: **مرحلة التغذية الناقصة، ومرحلة التغذية المتوسطة، ومرحلة التغذية الكافية أو المشبعة، ومرحلة التغذية فوق المشبعة أو الزائدة.** وعند كل مرحلة، تحدث تغيرات متقدمة فى بيئة المياه، وتؤثر فى العادة، بطريقة سلبية، على استخداماتها الاقتصادية أو الاستجمامية. ويوجد ملخص لخواص المياه كافية التغذية ومشكلاتها البيئية فى الفصل الثانى (جدول ٢ – ٣، جدول ٢ – ٤).

وتتطلب إدارة الفوسفور – لغرض تلافى عملية التشبع الغذائى – فهم المسائل الأساسية العديدة الخاصة بالفوسفور فى البيئة وهى:

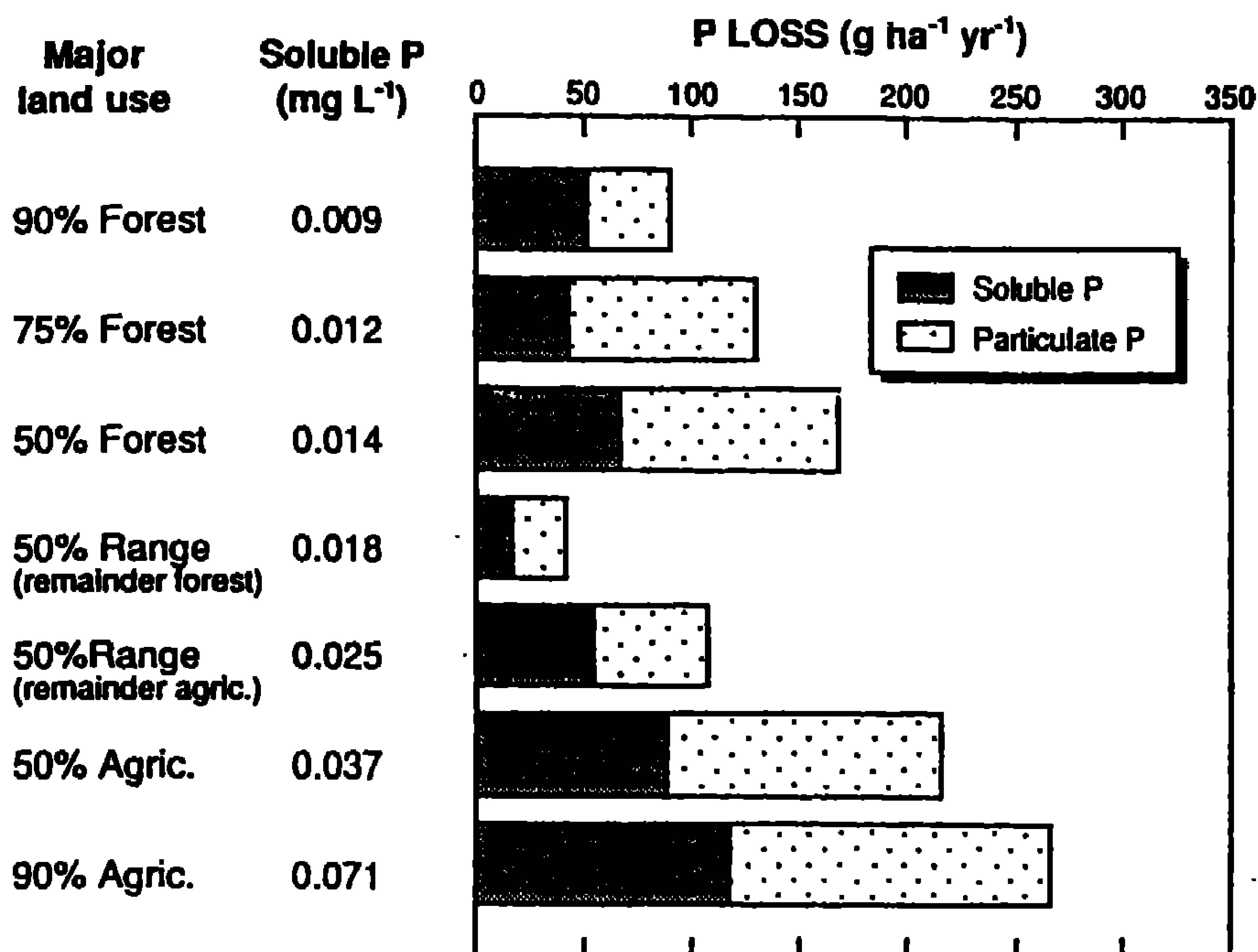
* ما خواص المياه التى يمكن أن تتحكم فى حدوث عملية التشبع الغذائى؟
* ما مصادر الإضافات الطبيعية للفوسفور فى المياه؟
* أى إضافات للفوسفور تحدث من المصادر الزراعية، والحضرية، والصناعية؟
* كيف تؤثر دورة فوسفور التربة فى تيسر الفوسفور وانتقاله إلى البيئة المائية؟
* ما ميكانيكية الانتقال السائدة التى تعمل بين مصادرالفوسفور والمياه؟
* ما الممارسات الإدارية التى يمكن استخدامها لتقليل حمولة الفوسفور المنقول إلى بيئة المياه، من جميع المصادر الحضرية والقروية؟
* كيف يمكن تطوير أسلوب متكامل ذى جدوى اقتصادية لتقليل حمولة الفوسفور فى البيئة المائية؟

٥ – ١ – ١ ظاهرة التشبع الغذائي: دور الفوسفور :

نظراً لأن التأثير البيئي الوحيد للفوسفور هو دوره فى عملية التشبع الغذائى، فإن الفهم الواضح لهذه العملية ضرورى من أجل تطوير استراتيجيات سليمة لإدارة الفوسفور. ففى البحيرات ناقصة التغذية، تكون تركيزات عنصرى النتروجين والفوسفور (الذائب، والمرتبط بالرواسب) منخفضة، وتعوق نمو الطحالب والنباتات المائية الأخرى. وعادة، تكون هذه البحيرات أعمق وبها مستويات أكسجين كافية، حتى فى فصل الصيف حين يكون التمثيل الضوئى ودرجة الحرارة ملائمين للنمو الأعظم للنبات. كما تختلف هذه البحيرات أيضا بدرجة كبيرة فى أنواع النباتات والحيوانات بها. ومع ذلك، فإن هذه البحيرات، بسبب انخفاض تركيزات العنصر الغذائى بها، لها إنتاجية حيوية منخفضة؛ وفى حالة استخدامها لإنتاج اقتصادى من الأسماك، فإنها فى الغالب تتطلب تسميداً مستمراً. على أن التغير فى النظام البيئى (مثل: إنشاء

محطات معالجة مياه الصرف الصحى، وتحويل أراضى الغابات إلى الاستغلال الزراعى أو الحضرى) يؤدى إلى زيادة مدخلات العناصر الغذائية إلى هذه البحيرات ناقصة التغذية، خاصة عنصرى النتروجين والفوسفور، ويشجع بذلك نمو الطحالب والنباتات المائية الأخرى، وتبدأ بذلك عملية التشبع الغذائى، وكما هو موضح فى شكل ٥ – ١، فإن تحول ٩٠٪ من أراضى الغابات إلى ٩٠٪ أراضى زراعية، يمكن أن يؤدى إلى زيادة قدرها ثلاثة أضعاف فى فقد الفوسفور الكلى فى ماء المطر السارى.

* وبمجرد ثبات ظروف التغذية الكافية، تُزهر الطحالب، وتحدث تأثيرات بيئية أخرى مدمرة تشمل: انخفاض مستويات الأكسجين الذائب، والنمو الزائد للأعشاب المائية الضارة، وزيادة الترسيب، وزيادة العكارة. وتعتبر الأكسجة الناقصة أول تأثير سلبى لعملية التشبع الغذائى، بسبب أن مستويات الأكسجين الذائب المنخفضة تعوق بدرجة كبيرة نمو وتنوع النباتات والحيوانات المائية، وتحت الظروف المتطرفة تسبب موت الأسماك. وتسبب زيادة الكتلة الحيوية الناتجة من عملية التشبع الغذائى استنفاذاً للأكسجين، خصوصاً خلال عملية التحلل الميكروبى لمخلفات النباتات والطحالب. وتحت ظروف زيادة العكارة أكثر من المعتاد فى البحيرات كافية التغذية، يقل نفاذ الضوء فى الأعماق الأكثر انخفاضا للمياه، وهذا ينتج عنه قلة نمو نباتات تحت السطح والكائنات التى تعيش فى الأعماق. وبالإضافة إلى الدمار البيئى، فإن عملية التشبع الغذائى يمكن أن ترفع من قيمة التكاليف الاقتصادية لصيانة المياه السطحية والمحافظة عليها لأغراض الاستجمام والملاحة. ومن بين التأثيرات البيئية غير المرغوبة – والتى ذكرت كثيرا – لعملية التشبع الغذائى مايلى: غُثاء الطحالب على سطح المياه، الروائح العفنة، مشكلات الحشرات، إعاقة تدفق المياه وحركة المراكب بسبب الأعشاب المائية، البحيرات الضحلة التى يجب تطهيرها (أى يجرف مابها من وحل) لإزالة الرواسب، اختفاء جماعات الأسماك المرغوبة. ولقد أدت هذه التأثيرات البيئية إلى جهود كبيرة لتطوير استراتيجيات الإدارة بهدف تخفيض مدخلات العنصر إلى المياه السطحية، حيثما أمكن ذلك، وذلك لإصلاح ومعالجة البحيرات والبرك كافية التغذية.



شكل ٥ – ١ تأثير استخدام الأراضى على فقد الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بالمواد العالقة من الأراضى. (Sharpley and Halvorson, 1994.)

وتتطلب مقاومة عملية التشبع الغذائى تخفيض عملية إثراء المياه السطحية بعنصرى النتروجين والفوسفور إلى أدنى حد، بالرغم من أنه فى معظم المياه العذبة تتوقف الإنتاجية البيولوجية على عنصر الفوسفور وليس على عنصر النتروجين. وهناك أدلة حديثة من نظم مصبات الأنهار – كماهو الحال عند خليج شيسابيك – تقترح أن يكون العنصر المحدّد فى مياه المد والجزر أو المياه المالحة – هو عنصر النتروجين. على أن الانخفاض الكبير لذوبان الفوسفور، وبالتالى التيسر الحيوى له، مقارنة بالنتروجين، فى معظم النظم الطبيعية، (أرضية أو مائية) يشرح لماذ تكون ظاهرة التشبع الغذائى فى المياه العذبة عادة محدودة بعنصر الفوسفور. إن حد بداية حدوث ظاهرة التشبع الغذائى لمعظم النظم المائية المتوقفة على الفوسفور حوالى ٣٠ ميكروجرام P لكل لتر

(٣٠ جزء فى البليون). وبذلك تكون المياه ذات تركيزات الفوسفور المنخفضة طبيعيا حساسة بدرجة كبيرة لمدخلات الفوسفور من مصادره المختلفة مثل سريان ماء المطر الزراعى، ونظم معالجة مياه الصرف الصحى، وتصريف مياه الأمطار فى المدن، ومياه الصرف الصناعى.

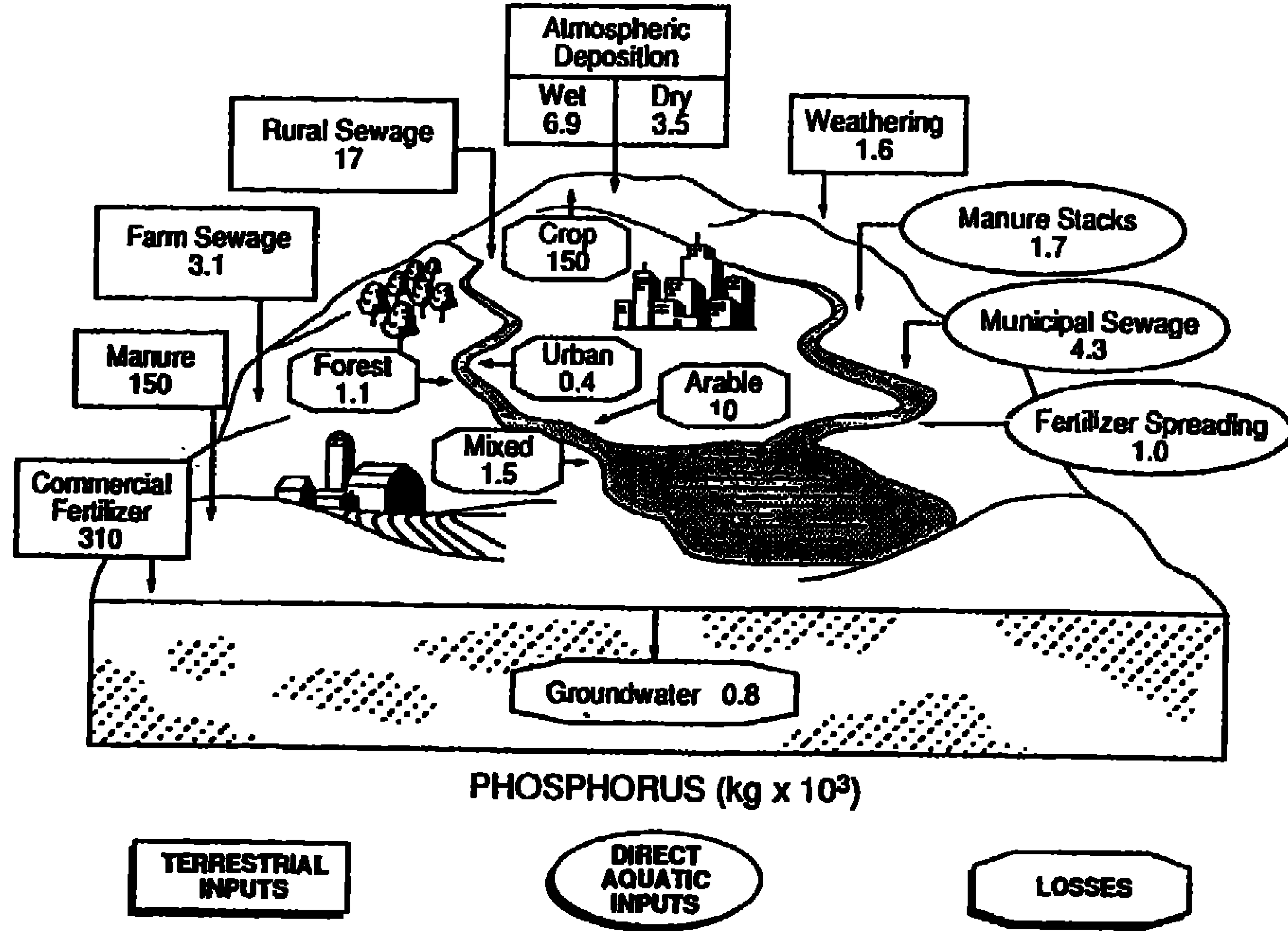
والإستراتيجيات التى تهدف إلى خفض حمولة الفوسفور يجب أن تأخذ فى اعتبارها طبيعة مصدر الفوسفور وكذلك أيضا حساسية المياه لعملية التشبع الغذائى. حتى النظم البيئية الطبيعية، مثل الغابات أو المراعى، عادة، تُعتبر منخفضة فى خصوبتها، ويمكن أن تعطى كمية وافية من الفوسفور فى مياه المطر السارية على السطح وتحت السطح، ويتغير بذلك توازن العنصر فى جسم المياه ويرتفع فوق حد بداية عملية التشبع الغذائى، وإن السيطرة على مدخلات الفوسفور من هذه المناطق غير عملى أو غير معقول بصفة عامة، مع التسليم بإمكانية الاستثناء فى حالة العمليات التجارية فى الغابات حيث يمكن لممارسات مقاومة الانجراف أن تخفض حمولات الرواسب إلى المياه السطحية. وعلى العكس من ذلك، فإن انطلاق الفوسفور من نقطة مصدر ذى تركيز عالى (مثل محطة معالجة مياه المجارى) يكون من السهل نسبيًا التعرف عليه والسيطرة عليه، ولكنه يكون مُكلفا لتصحيحه وذلك راجع إلى التكلفة اللازمة للتحسينات التكنولوجية لمحطات معالجة مياه الصرف الصحى أو مياه الصرف الصناعى، وعكس ذلك، فإن انخفاض حمولة الفوسفور إلى المياه السطحية من مصادر غير معروف نقطة انطلاقها – مثل سريان ماء المطر من مناطق تجمعه الحضرية والزراعية – لا يتوقف على التكاليف التكنولوجية، ولكن على الصعوبات المصاحبة لتنفيذ الممارسات المحسنة لإدارة العنصر على مستوى المساحات الكبيرة التى بها مشاريع زراعية (أو صناعية) متنوعة. وإن القيمة النسبية لمصادر إضافة الفوسفور، والتعقيدات التى تتضمنها عملية تخفيض حمولة الفوسفور (أو النتروجين) إلى البحيرات أو الأجسام المائية الأخرى، موضحة فى شكل ٥ – ٢ الذى يُبيِّن نظرة واسعة عن تأثير المدنية على ميزانية الفوسفور فى مستجمع الأمطار (فوسفور المخرجات – فوسفور المدخلات). وفى حالة مستجمع الأمطار فى بحيرة رنجسجون، فإن الميزانية سالبة بصفة مؤكدة: أى أن فوسفور المدخلات من جميع المصادر بما فى

ذلك مياه المجارى البلدية والريفية، والأسمدة الحيوانية، والأسمدة المعدنية، وماء المطر السارى من المناطق الحضرية ومناطق الغابات، تبلغ جميعها حوالى ٥١٢ ألف كيلو جرام فى السنة؛ بينما فوسفور المخرجات (المحاصيل، المياه الجوفية) تبلغ حوالى ١٥٠ ألف كيلو جرام فى السنة. وبالرغم من أن جميع مدخلات الفوسفور هذه لا تدخل مباشرة البحيرة، فمن الواضح أن عملية إغناء العنصر فى البحيرة – على المدى الطويل – تعزى على الأرجح إلى قدر أو قيمة الأنشطة الزراعية والحضرية فى مستجمع الأمطار (أى البحيرة).

٥ – ١ – ٢ التأثيرات البيئية لفوسفور التربة :

بالرغم أن كثيراً من مصادر الفوسفور لها القدرة على أن تُحفِّز (تُعجِّل) تشجيع عملية التشبع الغذائى فى المياه السطحية، فإن بؤرة اهتمام هذا الفصل هى إدارة الفوسفور فى الأراضى الزراعية وذلك لتلافى مشاكل جودة المياه. فالتلوث بالفوسفور من مصادره غير المعروف نقطة انطلاقها من الأراضى الحضرية سوف يؤخذ أيضا فى الاعتبار، بصفة أولية لإيضاح الاختيارات الإدارية المختلفة اللازمة التى تكون مصادر الفوسفور الرئيسية فيها هى عمليات الانجراف، وسريان ماء المطر بسبب العواصف، وعمليات البستنة المكثفة.

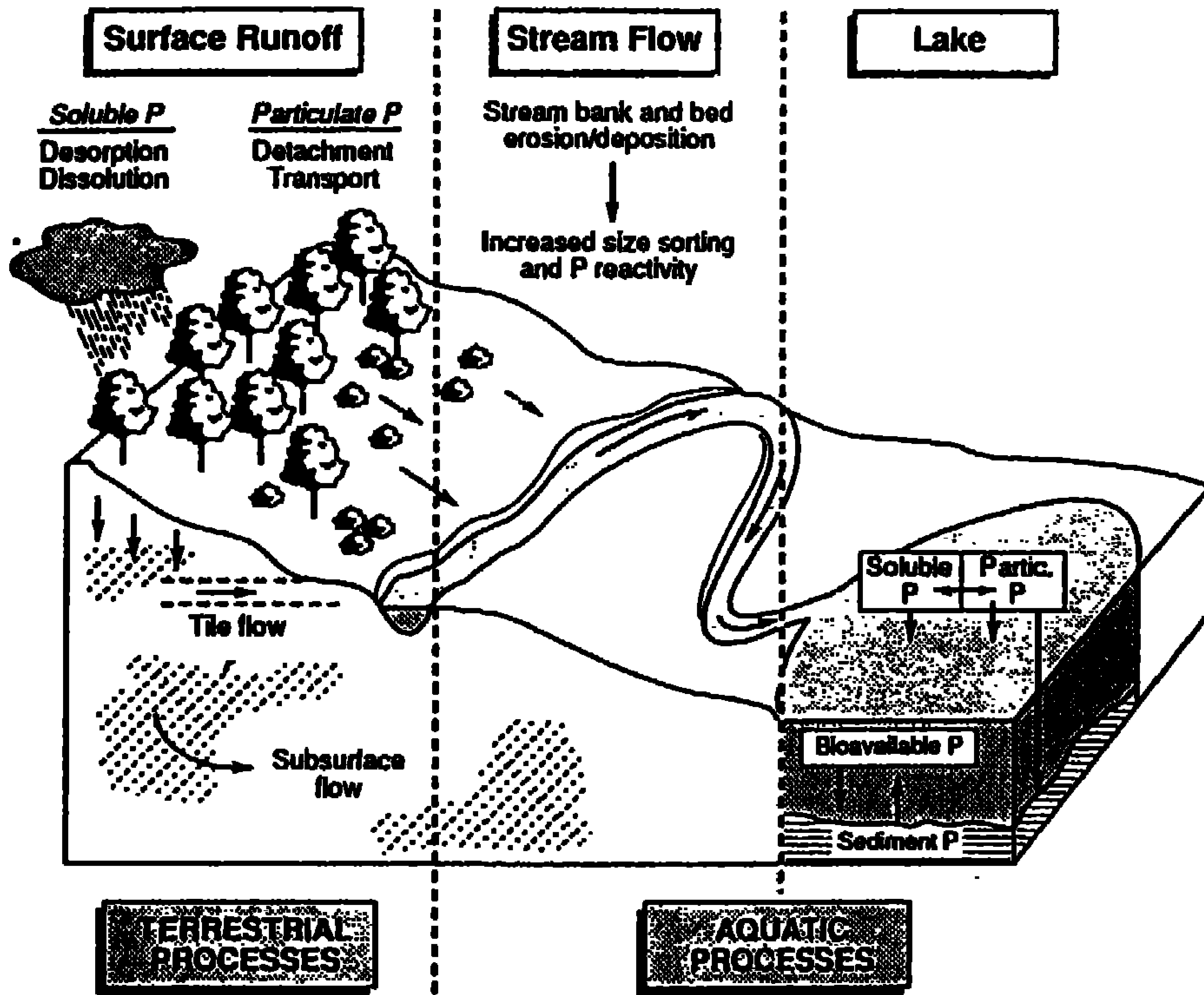
ويتم التحكم فى الكمية الكلية للفوسفور فى البحيرة أو الأجسام المائية السطحية الأخرى بواسطة التوازن بين المدخلات من مصادر الفوسفور الخارجية المذكورة بعاليه والمخرجات مثل تسرب المياه من البحيرة إلى الأنهار، والجداول، والمجارى المائية. وسوف يؤدى صافى الزيادة فى الفوسفور إلى زيادة احتمال حدوث عملية التشبع الغذائى؛ ومع ذلك، فإن تدوير الفوسفور بين الصور المختلفة: الصور الذائبة، والعضوية، والمرتبطة بالرواسب فى داخل البحيرة، سوف ينظم التيسر الحيوى للفوسفور، وبالتالى ينظم درجة عملية التشبع الغذائى التى تحدث. ولذلك، فإن أهمية فوسفور التربة فى عملية التشبع الغذائى سوف تُنظَّم بواسطة التفاعلات الكيميائية، والحيوية، والفيزيائية التى تتحكم فى ذوبان الفوسفور؛ وعمليات الانتقال التى تحرك



شكل ٥ – ٢ ميزانية الفوسفور للمناطق الزراعية والحضرية لمستجمع أمطار بحيرة -Rings jon بالسويد. (Ryding et al. 1990.)

جميع صور الفوسفور إلى الأجسام المائية وداخلها. ويمثل شكل ٥ – ٣ نظرة شاملة لهذه الظواهر المعقدة، وهو يلخص حركة الفوسفور فى الأراضى، وآليات الانتقال الرئيسية إلى جسم المياه، والتحولات الرئيسية التى يحدثها الفوسفور فى النظام المائى. وباختصار، فإن معظم الفوسفور فى الأراضى الزراعية (أو الحضرية) يوجد فى هيئة مترسبات غير ذائبة للكالسيوم، والحديد، و/ أو الألومنيوم، أو فى هيئة مكوِّن واسع المدى من مركبات عضوية. والماء المتحرك عبر أو خلال الأراضى يزيل كلا من الفوسفور الذائب والرواسب الغنية بالفوسفور، وهى عادة حبيبات خفيفة وصغيرة الحجم مثل حبيبات الطين وبعض المادة العضوية التى تُستهل بها (تبدأ بها) عملية الانتقال. والفوسفور الذائب أو الفوسفور المرتبط بالحبيبات الدقيقة هذه، إما أن يدخل

جسم الماء المناسب حيث يترسب فى هيئة رواسب أو يُحمل مباشرة فى داخل البحيرة أو البركة. ويمكن أيضا للفوسفور أن يرشح إلى أسفل فى التربة، ربما إلى مستوى نظام الصرف المغطى أو مستوى الماء الجوفى؛ حيث يستطيع الفوسفور بعد ذلك عن طريق الانتقال تحت السطح أن يتدفق فى الجدول أو البحيرة. وبمجرد دخوله البحيرة، يكون الفوسفور الذائب جاهزا فوراً وفى الحال للامتصاص بالكائنات المائية مثل الطحالب، بينما يتم إزالة الكثير من الفوسفور المرتبط بالجسيمات الدقيقة من البحيرة عن طريق الترسيب فى هيئة رواسب أو مترسبات. ومن المهم أن نلاحظ، رغماً عن ذلك، أن الفوسفور المرتبط بالرواسب فى الجداول أو البحيرات قد يصبح مُيسَّرًا للامتصاص الحيوى فى وقت لاحق، وهذا يمكن أن يحدث عندما يُستنفذ الفوسفور الذائب نتيجة



شكل ٥ - ٢ انتقال الفوسفور ومصيره فى النظم البيئية الأرضية والمائية.
(Sharpley and Halvorson, 1994.)

امتصاصه بواسطة النباتات المائية أو عندما تسبب الظروف المناخية تعكير وإعادة تعليق الرواسب. وبكل وضوح ؛ فالأمر يتطلب فهمًا عميقًا لكيمياء، وبيولوجيا، وفيزياء الفوسفور فى التربة والبيئة المائية وذلك لتصميم ممارسات الإدارة التى سوف تقلل من تأثيرات الفوسفور على جودة المياه.

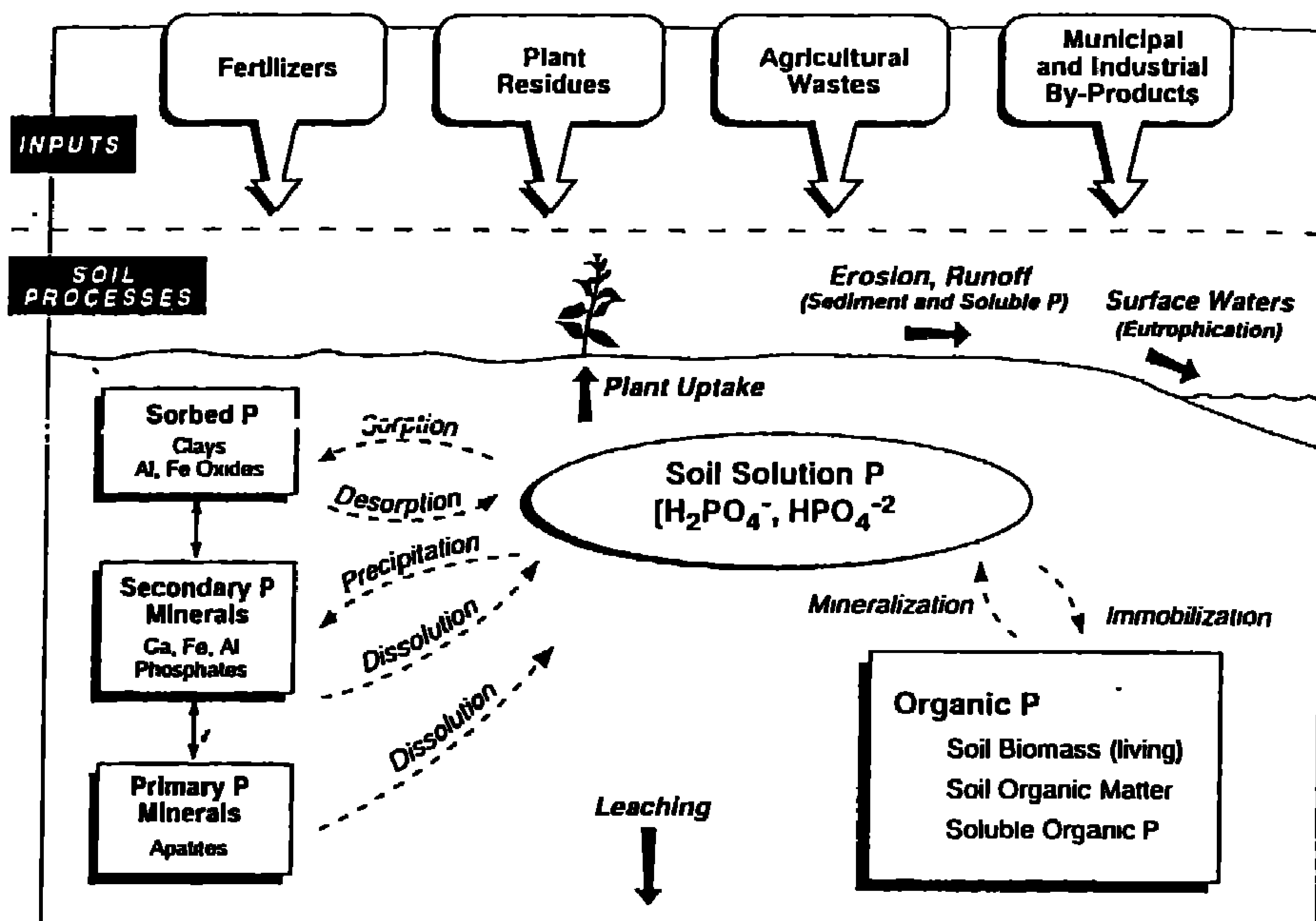
٥ - ٢ دورة فوسفور التربة :

إن المستويات الكافية للفوسفور فى الأراضى ضرورية لإنتاج المحاصيل الزراعية والنباتات النامية لأغراض جمالية فى المناطق الحضرية، وعلى ذلك فالتسميد بالفوسفور يعتبر مكونًا حيويًا للزراعة الحديثة. فالفوسفور الموجود فى جميع البيئات الأرضية، ينشأ، بصفة أولية، من عملية التجوية لمعادن التربة والمواد الجيولوجية الأخرى الأكثر ثباتا. وعندما ينوب الفوسفور فى الأراضى بواسطة العمليات الكيميائية والفيزيائية للتجوية، فإنه يتراكم بواسطة النباتات والحيوانات، ويتحول إلى صور ثابتة فى الأراضى، أو قد ينجرف من الأراضى ويترسب فى هيئة رواسب فى المياه العذبة أو المحيطات. وتقوم مشروعات المناطق الحضرية أو مشروعات الإنتاج الحيوانى الكبيرة بتحويل الفوسفور المتراكم بيولوجيا (غذاء أو علف) فى مخلفات بشرية أو حيوانية (مياه المجارى، الأسمدة الحيوانية)، ثم تقوم بتدوير هذا الفوسفور فى الإيكوسفير بدرجات متفاوتة من الكفاءة. كما تقوم عوامل التربة، التى تتحكم فى معدل تحول الفوسفور بين الصور غير العضوية والصور العضوية، بتنظيم مصير الفوسفور فى البيئة على المدى القصير والمدى البعيد. وتتكون دورة فوسفور التربة الموضحة فى شكل ٥-٤ من تفاعلات كثيرة معقدة كيميائة وميكروبيولوجية. على أن الغاية النهائية لبرامج الإدارة البيئية والزراعية الخاصة بفوسفور التربة هى تعظيم نمو النبات، وفى نفس الوقت تقليل فواقد الفوسفور إلى المياه السطحية إلى أدنى حد. وعلى ذلك، فمن المهم أن نفهم دور كل تفاعل فى التحكم فى تيسر فوسفور التربة للامتصاص بواسطة النبات أو الفقد فى مياه الانجراف، وماء المطر السارى على السطح، ومياه الغسيل، ومياه الصرف.

٥ – ٢ – ١ فوسفور التربة غير العضوي :

تتراوح عادة مستويات الفوسفور الكلي فى الأراضى من ٥٠ إلى ١٥٠٠ ملليجرام/ كيلوجرام، ٥٠ – ٧٠٪ منها يوجد فى صورة غير عضوية. وتختلف – قليلا – المعادن الرئيسية التى يحدث لها تجوية وينطلق منها الفوسفور إلى صور أكثر ذوباناً بين الأراضى، وبصفة أساسية كدالة للزمن وتطور التربة ، كما هو موضح فى شكل ٥ – ٥أ. ففى الأراضى التى لم يحدث لها تجوية أو حدثت لها تجوية حديثة، فإن المعادن السائدة هى الأباتيت، وفوسفات الكالسيوم بالتركيبة الكيماوية العامة $Ca_{10}(PO_4)_6X_2$، حيث تمثل X أنيونات مثل الفلوريد، الكلوريد، الهيدروكسيل، أو الكربونات. وبالرغم من معرفتنا لأكثر من ٢٠٠ صورة للفوسفور المعدنى فى الطبيعة، فإن معادن الفلورو أباتيت هى الصورة الأكثر شيوعاً فى هيئة معدن خام يمكن تعدينه، وفى هيئة أحد مكونات معظم الأراضى الصالحة للزراعة. وفى مناطق التجوية الكثيفة، يتم غسيل معادن الكالسيوم والمعادن الأخرى القاعدية من التربة، وينخفض رقم حموضة المحلول الأرضى، ويحدث ذوبان للحديد والألومنيوم. وتتكون رواسب من الحديد، والألومنيوم، والفوسفور، وتصبح هى المصادر المعدنية الأساسية للفوسفور فى الأراضى التى حدثت لها تجوية بدرجة عالية. كما يسود أيضا فى هذه الأراضى أكاسيد الحديد والألومنيوم غير المتبلورة، وتعمل كأنها «بالوعة» للفوسفور، من خلال عديد من التفاعلات الكيميائية، ويشار إليها جميعها بعملية **تثبيت الفوسفور**.

وعندما يذوب الفوسفور أو ينطلق من المكونات الصلبة للتربة، فإنه يدخل المحلول الأرضى؛ حيث تتوقف الصورة الأيونية للفوسفور، بدرجة كبيرة، على رقم حموضة التربة. وفى حالة مدى رقم الحموضة الشائع فى الأراضى الزراعية (٤ – ٩)، يوجد الفوسفور إما على صورة أنيون أحادى التكافؤ ($H_2PO_4^-$) أو ثنائى التكافؤ (HPO_4^{2-}) (كما هو موضح فى شكل ٥ – ٥ ب)، وكلاهما ميسر أو جاهز فوراً للامتصاص بواسطة النبات. ولعل أحد الصفات المشتركة للفوسفور فى الأراضى عند جميع مراحل التجوية هو انخفاض ذوبان المعادن الحاملة للفوسفور. وفى معظم الأراضى الزراعية يتراوح تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى من ٠٫٠١ إلى ١٫٠٠ ملليجرام فى اللتر



شكل ٥ – ٤ دورة الفوسفور فى الأراضى. نظرة شاملة للعمليات الفيزيائية، والكيميائية، والميكروبيولوجية المتحكمة فى تيسر الفوسفور للنباتات وانتقاله فى ماء المطر السارى أو فى مياه الغسيل. (Gachon, 1969.)

(جزء فى المليون)، بالرغم من وجود تركيزات عالية مثل ٦ – ٨ ملليجرام/ لتر أمكن قياسها فى أراضى مسمدة حديثا. وتختلف تركيزات الفوسفور الذائبة اللازمة للنمو العادى للنبات قليلاً بين الأصناف المختلفة وتبعا لكمية المحصول. ولقد تم تسجيل رقم ٢ر٠ ملليجرام P /لتر كقيمة شائعة للتركيز المرغوب لفوسفور المحلول الأرضى. كما وجد أن تركيزات الفوسفور المنخفضة مثل ٠٣ر٠ ملليجرام فى اللتر كافية لإنتاج محصول كبير للكثير من المحاصيل الحقلية. وبطريقة شيقة، فإن تركيز الفوسفور الذائب المساوى ٠٣ر٠ ملليجرام فوسفور فى اللتر يستخدم أيضا كحد أو عتبة لبداية حدوث عملية التشبع الغذائى فى المياه العذبة، ونستنتج من هذا أنه توجد عمومية فى احتياجات التغذية بالفوسفور بين النباتات الأرضية والنباتات المائية.

٥ – ٢ – ٢ فوسفور التربة العضوى :

يدخل الفوسفور الذائب من المعادن فى المحلول الأرضى حيث يحدث له تراكم أو تجمع بيولوجى. وتختلف النباتات بدرجة واسعة فى محتواها من الفوسفور، وفى معظم المحاصيل الزراعية يتراوح من ١ر٠ إلى ٥ر٠٪ فوسفور، ويكون أقل بكثير عن تركيزات العناصر الكبرى الأخرى الضرورية للنبات مثل النتروجين والبوتاسيوم (٢ – ٤٪). وفى المناطق الزراعية، يحدث إزالة لبعض الفوسفور المتراكم بواسطة النباتات من التربة فى صورة محصول حبوب أو علف للماشية، والباقى يعود للتربة كبقايا مخلفات المحاصيل (جدول ٥ – ١). وفى البستنة الحضرية ونظم البيئة المحلية، فإن جميع الفوسفور المتراكم يمكن تدويره مؤخرا فى التربة عندما تموت النباتات أو تفقد المادة الخضراء استجابةً للتطور البيولوجى العادى. ولعلّ أحد أهم الاهتمامات البيئية فى المناطق الحضرية، هو تحوّل الفوسفور المندمج بيولوجيا فى البساتين الخاصة أو الصناعية فى مادة عضوية متبقية (أوراق، أعشاب خضراء مقصوصة) التى يتم التخلص منها بواسطة البلديات عن طريق الدفن فى حفر بالأرض أو عن طريق مشروعات ضخمة لتحويلها إلى سماد عضوى صناعى (كمبوست). وبالمثل، تمثل الفضلات البشرية تحولا للفوسفور المتراكم بيولوجيا من محاصيل السلسلة الغذائية إلى مادة عضوية متبقية (مياه المجارى). والمثال الزراعى المناظر لهذا الوضع هو الزراعة المركزة المعتمدة على الحيوان (مزارع الأبقار، مشروعات الدواجن) حيث يتحول الفوسفور العضوى فى المحصول إلى فوسفور عضوى فى السماد الحيوانى. وفى كل من النظم الزراعية والحضرية فإن هذه المادة العضوية المتبقية تضاف – غالبا وباستمرار – إلى الأراضى فى منطقة جغرافية محدودة، وهذا يؤدى إلى ارتفاع مستوى الفوسفور الأرضى إلى مستويات الاهتمام البيئى، لأنه مع مرور الزمن فإن كثيراً من الفوسفور العضوى يتحلل بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة ويتحول بعد ذلك إلى صور ذائبة غير عضوية (جدول ٥ – ٢).

وتشمل الصور الشائعة للفوسفور العضوى الموجودة فى الأراضى مركبات فوسفات الإنيسيتول، والفوسفو ليبيدات، والفوسفو جليسريدات، والسكريات

جدول ٥ – ١ تركيزات الفوسفور وإزالته فى الأجزاء المحصودة لبعض المحاصيل الزراعية الرئيسية.

المحصول	تركيز الفوسفور (٪)	المحصول ميجاجم/ هكتار	الفوسفور المزال كجم P / هكتار
الحبوب:			
الذرة	٢٨ر٠	٤ر٩	٢٦
الأرز	٢٤ر٠	٠ر٤	١٠
فول الصويا	٥٨ر٠	٢ر٧	١٢
القمح	٤٥ر٠	٢ر٧	١٢
العلف:			
البرسيم الحجازى	٢٥ر٠	١٣ر٤	٣٤
حشيشة برمودا	٣٢ر٠	٢٢ر٤	٧١
سيلاج الذرة	٠٦ر٠	٦٧ر٢	٣٩
البرسيم الأحمر	٢٥ر٠	٩ر٠	٢٢
العكرش الطويل	٤٤ر٠	٩ر٠	٣٩
محاصيل خاصة:			
الفول	٠٦ر٠	٢٦ر٩	١٥
الكرفس	١٤ر٠	٦٧ر٢	٩٠
البصل	٠٥ر٠	٤٠ر٣	١٩
البطاطس	٠٤ر٠	٤٤ر٨	١٧
قصب السكر	٠٢ر٠	٢٢٤ر٠	٤٨
الذرة السكرية	٠٧ر٠	٦ر٧	٥
الطماطم	٠٤ر٠	٦٧ر٢	٢٧

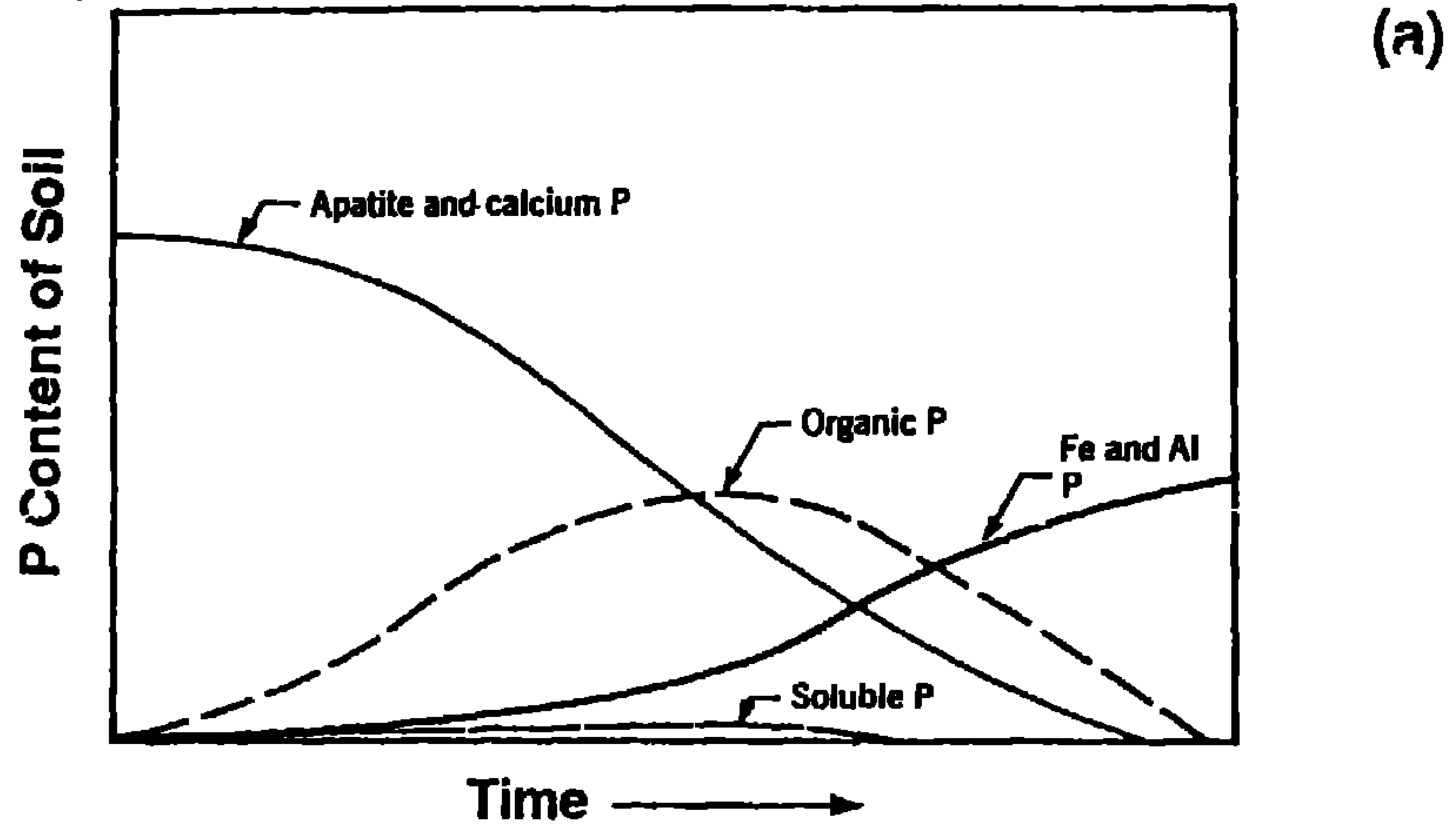
(Pierzynski and Logan, 1993.)

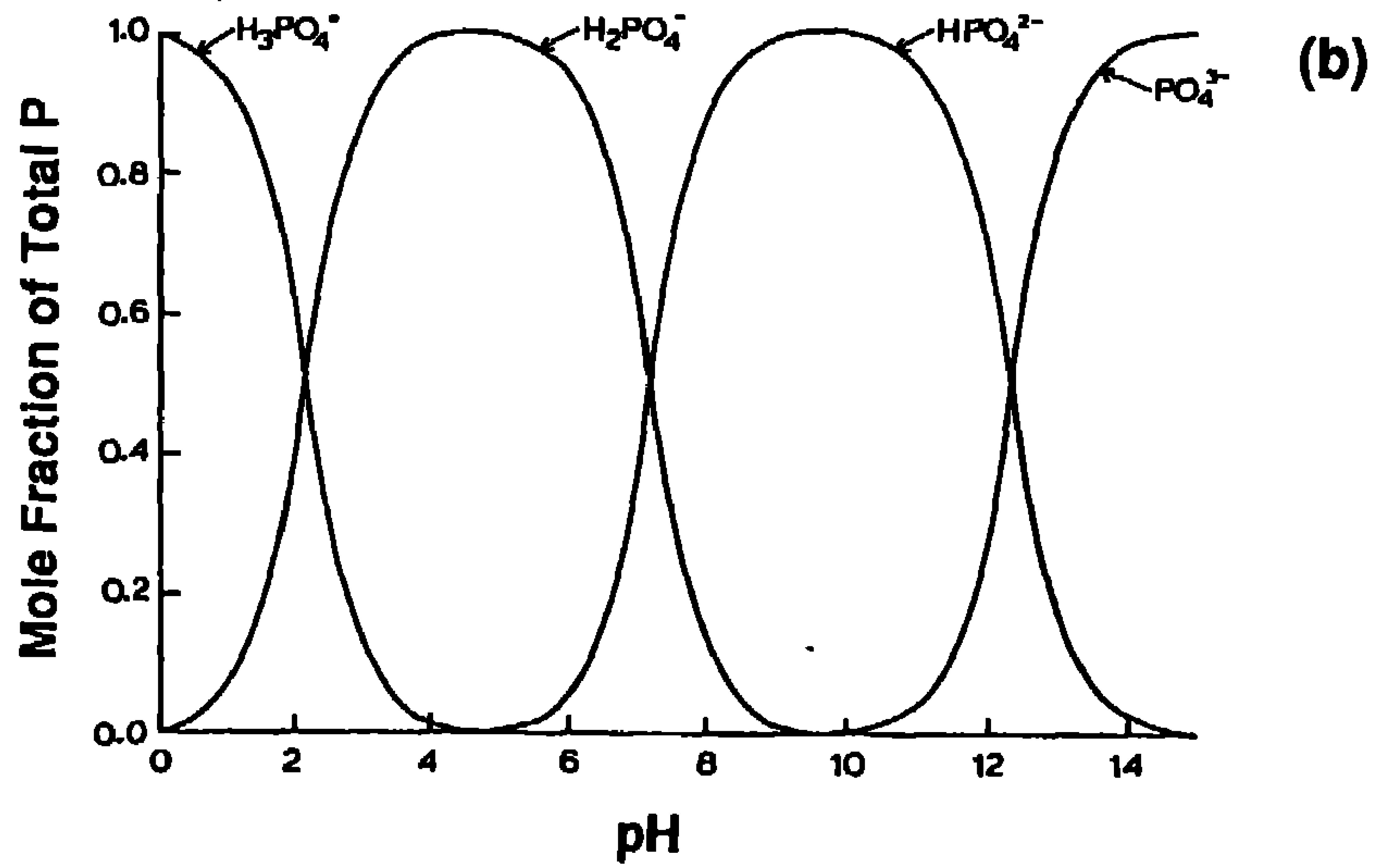
جدول ٥ -٢ صور الفوسفور فى الأراضى المحسنة بالمخلفات العضوية.

معاملات التربة	P الكلى	P العضوى	P غير العضوى
	مجم / كجم		
أراضى مُحسّنة بسماد حيوانى :			
أربعة أراضى من ديلاوير	١٤٦٧	٢٨١ (١٩٪)	١١٦٦ (٨١٪)
سبعة أراضى من بنسلفانيا	٢٢٤٠	٤٢٧ (١٩٪)	١٨١٣ (٨١٪)
أرض طمى طينية من بولمان :			
أرض غير معاملة	٣٥٣	٢٠٢ (٥٧٪)	١٥١ (٤٣٪)
أرض + P معدنى	٤٥٧	٢٣١ (٥١٪)	٢٢٦ (٤٩٪)
أرض + مخلفات مرعى الأبقار (٦٧ ميجاجم / هكتار / سنة)	٩٩٦	٣٢٣ (٣٢٪)	٦٧٣ (٦٨٪)
أرض طمى رميلة من جرين فيلد:			
أرض غير معاملة	٥٧٩	٦٠ (١٠٪)	٥١٩ (٩٠٪)
أرض + حمأة المجارى (٤٥ ميجا جرام / هكتار)	١٤٣٣	١٢٢ (٩٪)	١٢١١ (٩١٪)

(Sims ,1992 ; Sharpley et al .,1984 ; and Chang et al., 1983.)

الفوسفاتية، والأحماض النووية. ويؤدى التحلل الميكروبى للفوسفور العضوى إلى انطلاق الفوسفور الذائب، الذى يتحول عادة مع مرور الوقت إلى صور غير عضوية ثابتة للفوسفور. ولقد أوضحت الدراسات أن أكثر من ٥٠٪ من الفوسفور المنقول فى ماء المطر السارى عبارة عن فوسفور عضوى ذائب ، وتعتمد درجة ومعدل تحول الفوسفور العضوى إلى صور ذائبة أو صور غير عضوية ثابتة بدرجة كبيرة على طبيعة





شــــكل ٥ – ٥ التغـــيرات فى صـــورة فوســـفور التربة، وتأثرها بواســـطـة:
(a) زمن تطور الأراضى بالنسبة للفوسفور الكلى؛
(b) رقم حموضة التربة pH بالنســـبة للفوســـفور الذائب.

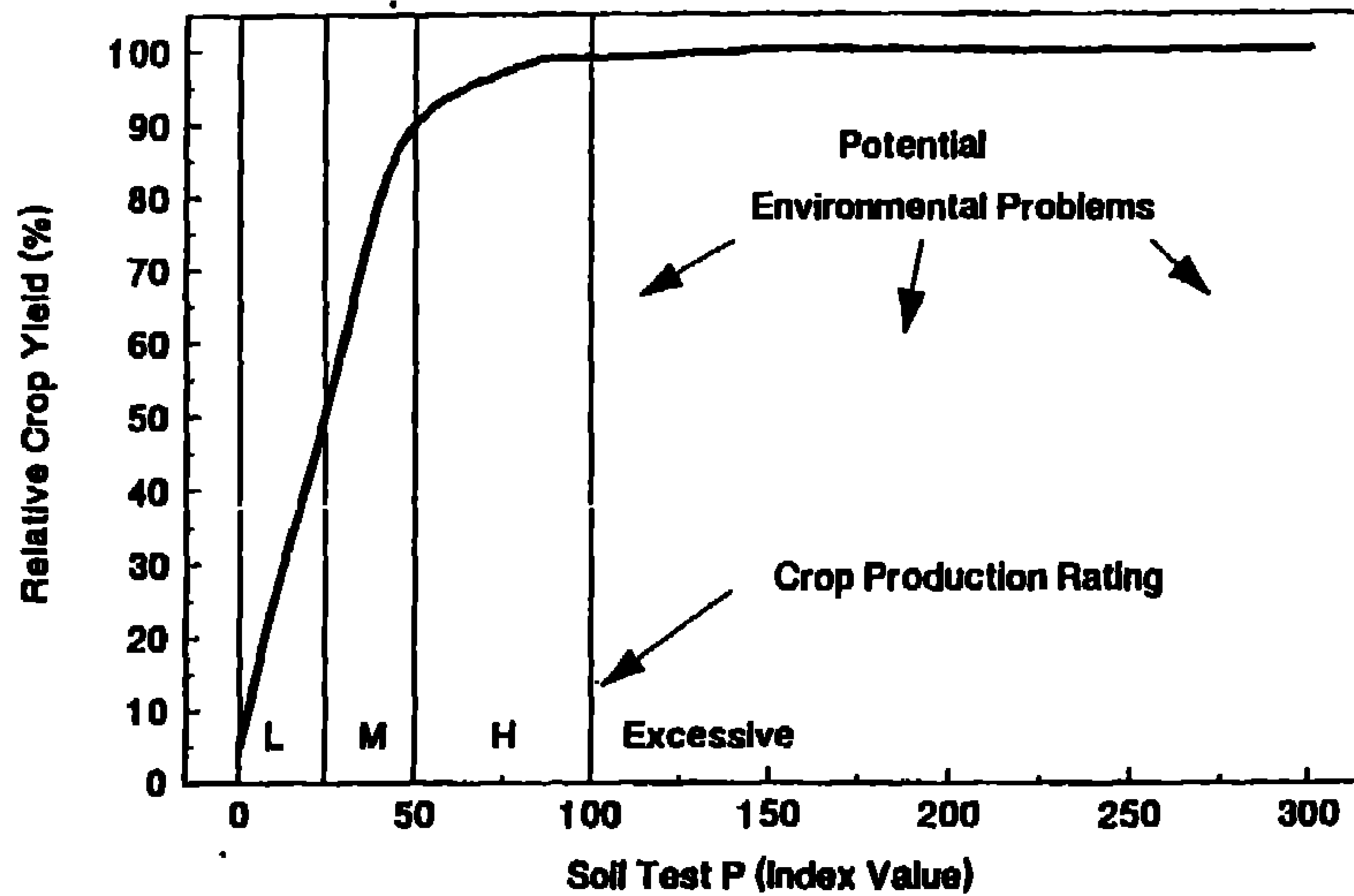
(Foth and Ellis, 1988:)

المادة العضوية الأصلية، وأيضا على العوامل البيئية مثل رقم حموضة التربة، ودرجة حرارتها، ونسبة الرطوبة بها. فالمخلفات العضوية الطازجة ينطلق منها الفوسفور إلى المحلول الأرضى بسرعة، بينما تعمل صور أخرى من المادة العضوية أكثر ثباتًا (مثل: دبال التربة، السماد الحيواني، حمأة المجارى، السماد العضوى الصناعى «الكمبوست») على المدى الطويل كمصادر بطيئة لانطلاق الفوسفور. وتحدث عادة عملية المعدنة – تحول الفوسفور العضوى إلى فوسفور غيرعضوى – بسرعة اذا كانت نسبة «الكربون: الفوسفور» فى المادة العضوية أقل من ٢٠٠ : ١، بينما تحدث عملية التثبيت فى صورة عضوية – وهى اندماج الفوسفور فى الكتلة الحيوية الميكروبية – عندما تكون نسبة «الكربون: الفوسفور» أكبر من ٣٠٠: ١ وعند هذا الوقت، فليس من الواضح عما إذا كانت النباتات يمكنها أن تمتص مباشرة الفوسفور العضوى الذائب أو أن الأمر يتطلب فعلاً إنزيميًا يقوم بتكسير جزئيات الفوسفات من المركب العضوى قبل عملية الامتصاص.

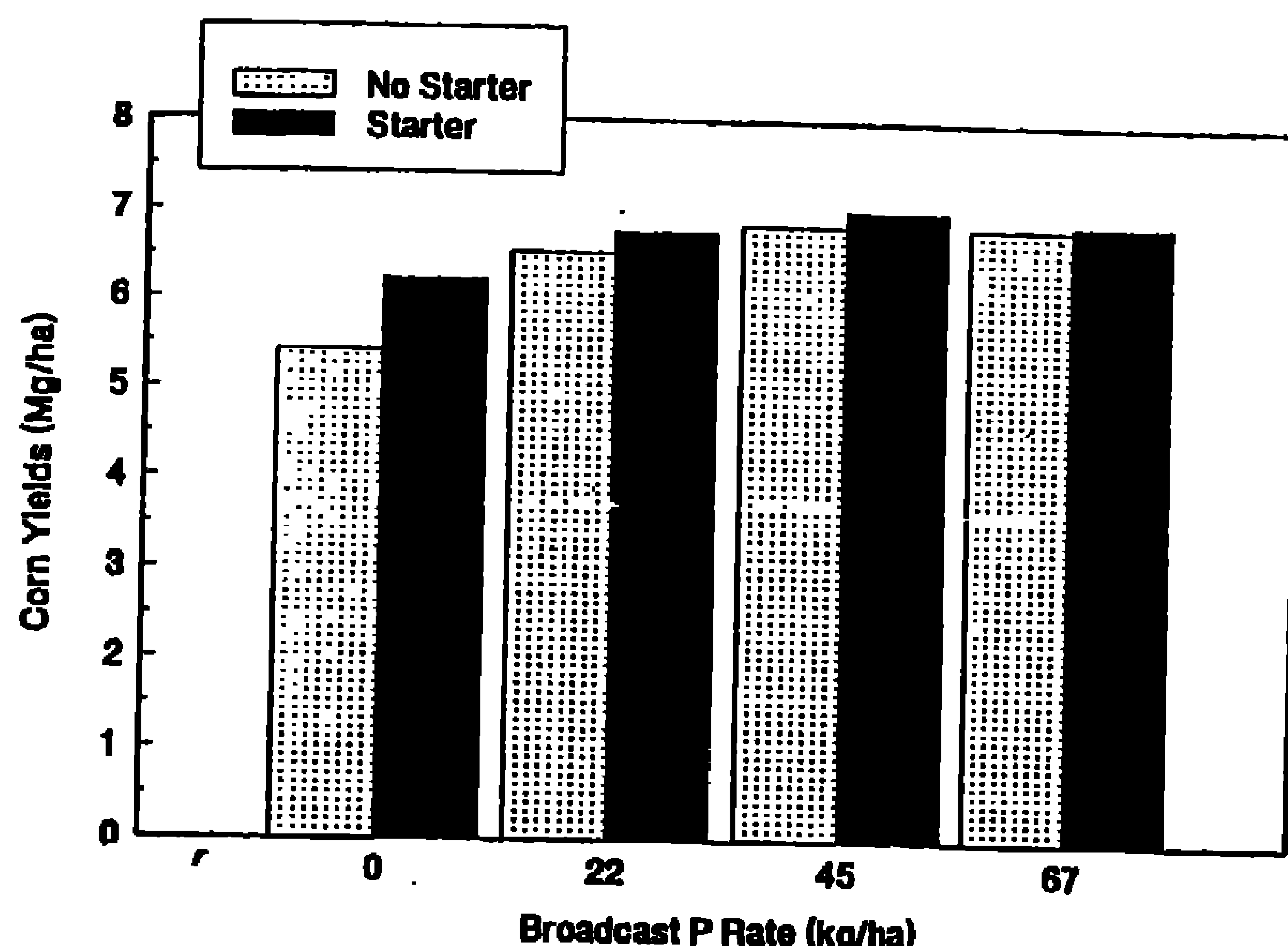
٥ – ٢ – ٣ إضافات الفوسفور للأراضى :

إن النوبان المنخفض للفوسفور فى كثير من الأراضى يعنى أن المحلول الأرضى يجب تعويضه بصفة متكررة وبسرعة بفوسفور ذائب إذا كان المطلوب هو الحصول على محصول كافٍ. وفى حالة الأراضى عالية الخصوبة، يمكن للتربة فى المعتاد أن توفر وتمد النباتات بكل الفوسفور اللازم لها. والحاجة إلى فوسفور إضافى يمكن تقديرها بسهولة عن طريق **اختبارات التربة**. والخلاصة، أن اختبارات التربة تشمل مقارنة الفوسفور الميسر فى التربة والمقدر بمستخلص كيميائى، مع **القيم الحرجة** المقدرة من البحوث على المدى الطويل (شكل ٥ – ٦). وكلما تقل قيمة اختبار التربة فى الفوسفور، يزداد احتمال استجابة المحصول لتحقيق ربحية اقتصادية للتسميد الفوسفاتى. وبالمثل، ففى الحقول التى لها أرقام اختبار تربة أعلى من الحد الحرج، سوف لا تؤدى على الأرجح إضافة أسمدة الفوسفور إلى زيادة فى المحصول، كما أن إضافة الأسمدة المعدنية، أو الحيوانية، أو مصادر الفوسفور الأخرى إلى

الحقول التى لها أرقام اختبار تربة أعلى من الحد الحرج ليست ضرورية وتزيد من إمكانية فقد الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بالرواسب إلى المياه السطحية. والاستثناء الوحيد لذلك هو استخدام كميات صغيرة من السماد فى هيئة «مشجع» أو «بادئ» يوضع قرب البذرة أو البادرة عند الزراعة، وهذه الممارسة وجد أنها تؤدى إلى نمو نباتى مبكر وأكثر قوة، وأحيانا تزيد المحصول الناتج (شكل ٥ –٧). واستجابة النبات لسماد المحفّز «البادئ»، حتى فى الأراضى ذات المحتوى العالى فى الفوسفور، يمكن تفسيرها عن طريق معدلات المعدنة الأقل (المنخفضة) للفوسفور العضوى وانتشار الفوسفور الذائب الذى يحدث مبكرًا فى فصل النمو عندما تسود درجة حرارة التربة الباردة. وعندما تدفأ الأراضى، تحدث التفاعلات الميكروبية والكيميائية بسرعة أكثر ويزداد تزويد جذور النباتات بالفوسفور إلى المستويات المقبولة.



شكل ٥ – ٦ العلاقة بين فوسفور التربة، والمحصول، واحتمال حدوث مشاكل بيئية بسبب الزيادة فى فوسفور التربة (L = منخفض ، M = متوسط ، H = مرتفع).



شكل ٥ – ٧ تأثير السماد "البادئ" على محصول الذرة . النتائج لدراسة لمدة ٢٠ سنة في ولاية Iowa لمقارنة استخدام سماد الفوسفور "البادئ" مع معدلات مختلفة للفوسفور المضاف نثراً عن فترات ثلاث سنوات . (Young e al ., 1985.)

وكثير من الأراضى، بسبب انخفاض الفوسفور فى مادة الأصل، وانخفاض محتواها فى المادة العضوية، أو بسبب الزراعة المكثفة، لا تحتوى على فوسفور كافٍ للنمو المرغوب للنبات. وعلى ذلك، فالتسميد بأسمدة الفوسفور غير العضوية أو استخدام الأسمدة الحيوانية، أو حمأة المجارى، أو الأسمدة العضوية الصناعية، أو منتجات المخلفات الأخرى يُعدّ أمراً ضرورياً. وتنتج أسمدة الفوسفور التجارية عن طريق عمليات صناعية تشمل تفاعلات خام الفوسفات (مثل الفلور أباتيت، أو «صخر الفوسفات») مع حامض الكبرتيك (السوبر فوسفات العادى، ٩٪ فوسفور)، أو حامض الفوسفوريك (سوبر فوسفات ثلاثى، ٢٠ – ٢٢٪ فوسفور)، أو حمض فوسفوريك مع الأمونيا (فوسفات أحادى الأمونيوم، ٢١٪ فوسفور، فوسفات ثنائى الأمونيوم، ٢٣٪ فوسفور). ويمكن أن يستخدم أيضا مباشرة صخر الفوسفات (١٣ – ١٧٪ فوسفور) كسماد فوسفاتى بالرغم من انخفاض ذوبانه ، وفى هذه الحالة لابد من

إضافة معدلات عالية من صخر الفوسفات لتوفير فوسفور ميسر بدرجة كافية. ويشتمل جدول ٥ - ٣ على نسبة الفوسفور فى المصادر العضوية وغير العضوية الشائع استخدامها.

والأسمدة الحيوانية، وحمأة المجارى، والأسمدة العضوية الصناعية المضافة إلى الأراضى الزراعية كجزء من عمليات التخلص من المخلفات، تحتوى على تركيزات منخفضة نسبيا من الفوسفور (١ر٠ - ٣ر٠٪). وبالرغم من ذلك ، لو أخذنا فى الاعتبار أن هذه المخلفات العضوية تستخدم عادة بكميات كبيرة وبصفة متكررة، وأن كميات الفوسفور التى تزال فعلاً من التربة فى محاصيل الحبوب أو العلف صغيرة نسبيا، فإن هذه المخلفات العضوية يمكنها تزويد المحاصيل باحتياجاتها من الفوسفور، ويمكنها أيضاً (كما ذكرنا سابقا) أن ترفع فوسفور التربة إلى مستويات عالية جداً خلال سنوات قليلة (شكل ٥ - ٨). ولسوء الحظ، بسبب تكاليف النقل والمناولة، فإن معظم العمليات الزراعية المعتمدة على الحيوانات لها بدائل قليلة لإضافات الأسمدة الحيوانية للأرض فى خلال مسافة قصيرة من المنطقة التى تتربى وتنمو فيها هذه الحيوانات. وهذا يؤدى على المدى الطويل إلى رفع فوسفور التربة ليصل إلى مستويات زائدة، حيث أن معدلات الإضافة النموذجية لهذه الأسمدة الحيوانية تضيف عادة الفوسفور بمعدلات تفوق احتياجات المحصول من هذا العنصر. وعندما تكون هذه الأراضى قريبة من جسم مائى حساس، فإن التأثيرات البيئية المحتملة تصبح قضية جاهزة لاتخاذ إجراءات حاسمة بشأنها. وبالمثل، فبالنسبة للبلديات، فإن البدائل الميسرة لإضافة المخلفات العضوية إلى الأراضى (دفنها فى حفر فى الأرض، إغراقها فى المحيطات، حرقها) محدودة ومكلفة، وقد يكون لها تأثيرات بيئية خطيرة مقارنة بالبرامج السليمة لإضافتها للأراضى.

والمخلفات غير العضوية من العمليات الصناعية مثل خبث المعادن القاعدى (٣ - ٥٪ فوسفور) - ناتج ثانوى لصناعة الحديد والصلب - أو رماد الفحم الحجرى (أقل من ١٪ فوسفور) - ناتج ثانوى لصناعة الطاقة الكهربائية - يمكن أن تضيف كميات كبيرة من الفوسفور الكلى إلى الأراضى. وفى حين أن نوبان المخلفات الصناعية، وبالتالى تيسرها للنبات عادة أقل من الأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية،

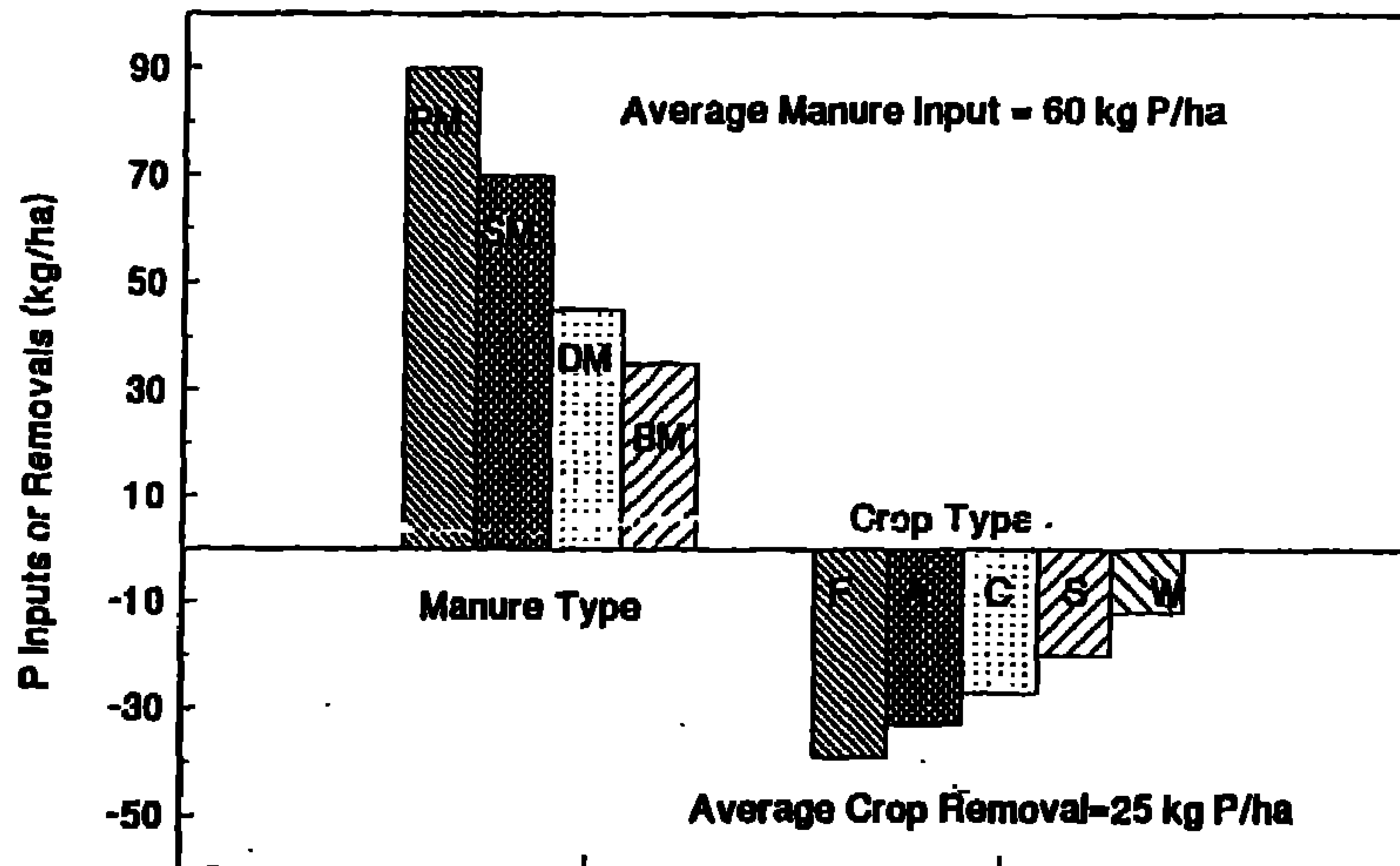
جدول ٥ – ٣ مصادر الفوسفور العضوية وغير العضوية التى تستخدم فى إنتاج المحاصيل.

المصدر وتركيبه الكيميائى		%P	$\%P_2O_5$	عناصر أخرى
أسمدة تجارية:				
سوبر فوسفات عادى	$Ca(H_2PO_4)_2 + CaSO_4$	٧ – ١٠	١٦ – ٢٣	Ca ، S (٨ – ١٠٪)
سوبر فوسفات ثلاثى	$Ca(H_2PO_4)_2$	١٩ –	٤٤ – ٥٢	Ca
فوسفات أحادى الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	٢٣	٦١ ،	N (١٢٪)
فوسفات ثنائى الأمونيوم	$(NH_4)_2HPO_4$	٢٦	٥٣	N (٢١٪)
يوريا – فوسفات أمونيوم	$CO(NH_2)_2, NH_4H_2PO_4$	٢٣	٢٨	N (٢٨٪)
أمونيوم بولى فوسفات (سائل)	$(NH_4)_3HP_2O_7$	١٢	٣٤	N (١١٪)
صخر الفوسفات:		١٥		
الولايات المتحدة (فلوريدا)	$Ca_{10}F_2(PO_4)6 - x CaCO_3$	١٤	٣٣	معظمها شوائب:
البرازيل	رواسب معدنية مختلفة	١٥	٣٥	CO_3 , F , Si , Fe , Al
المغرب		١٤	٣٣	
الاتحاد السوفيتى سابقا.		١٧	٣٩	
مصادر عضوية:				
سماد أبقار اللحوم.		٠ر٩	٢ر١	, Mg , Ca , S , K , N
سماد أبقار اللبن.		٠ر٦	١ر٤	عناصر دقيقة
سماد الدواجن.		١ر٨	٤ر١	
سماد الخنزير		١ر٥	٣ر٥	
حمأة مهضومة هوائيا		٣ر٣	٧ر٦	
حمأة مهضومة لاهوائيا		٣ر٦	٨ر٣	
كمبوست الحمأة		١ر٣	٣ر٠	

إن إضافة هذه المخلفات الصناعية للأراضى أصبحت بدرجة كبيرة بديلاً مرغوبا من الناحية الاقتصادية بدلاً من التخلص منها بالدفن فى حفر أرضية ، وينبغى على برامج الإدارة التى تستخدم هذه المواد كمحسنات للتربة أن تأخذ أيضا فى اعتبارها تأثير هذه المخلفات الصناعية على رقم حموضة التربة والأملاح الذائبة، وعلى وجود العناصر السامة للنبات (مثل: البورون، الصوديوم)، وكذلك على مصير المعادن الثقيلة غير الضرورية الموجودة فى هذه النواتج الثانوية على المدى الطويل.

٥ – ٣ تحولات الفوسفور فى الأراضى :

إن الهدف الأساسى لإدارة فوسفور التربة هو المحافظة على تركيز فوسفور محلول التربة عند قيمة كافية لنمو النبات، وفى نفس الوقت تقليل – إلى أدنى درجة – حركة الفوسفور الذائب، والفوسفور العضوى، والفوسفور المرتبط بالرواسب إلى



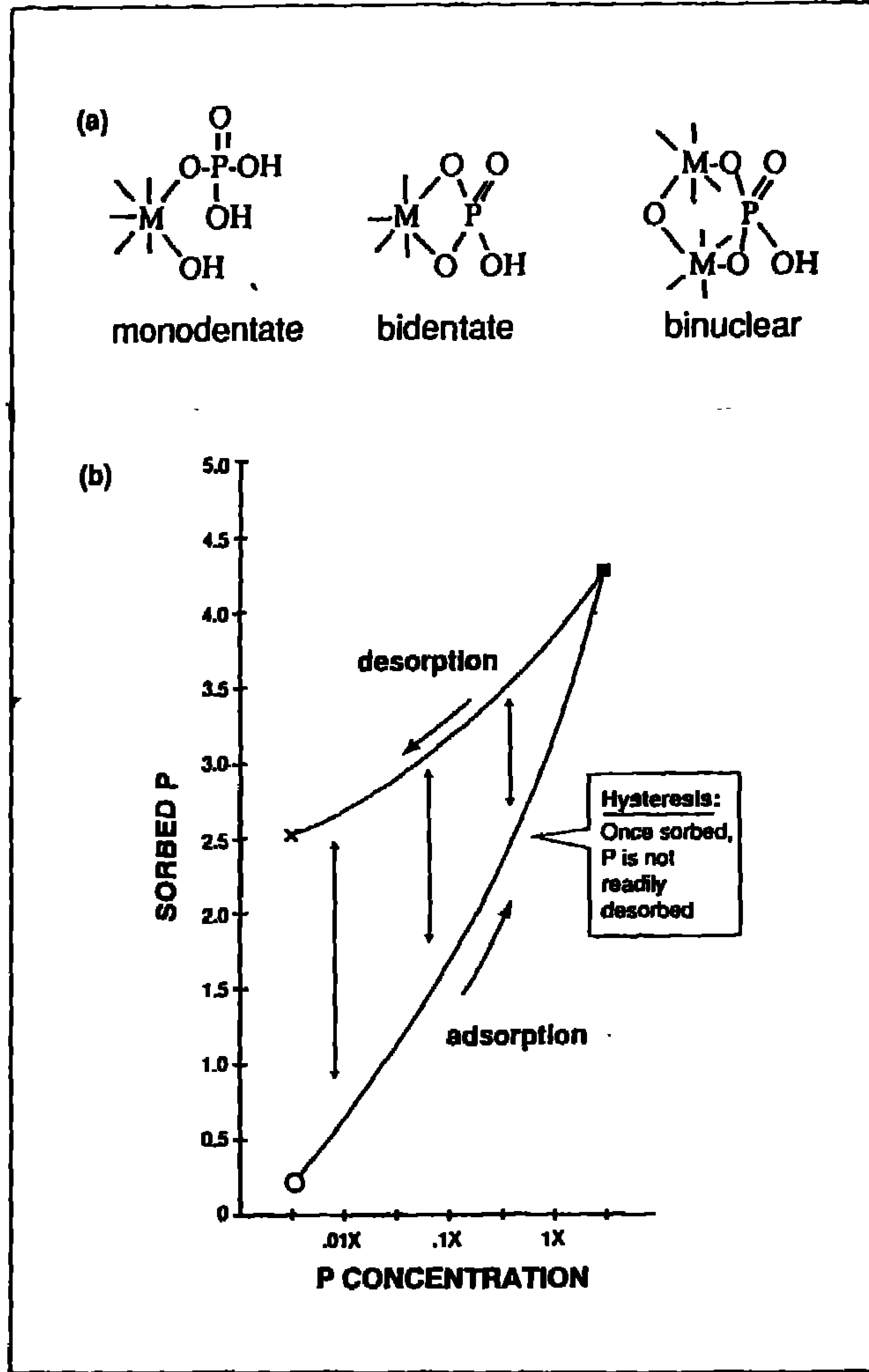
شكل ٥ – ٨ مقارنة بين مدخلات الفوسفور النموذجية من الأسمدة الحيوانية وكمياته المزالة فى محصول الحبوب أو العلف . (PM = سماد الدواجن ، SM = سماد الخنزير ، DM = سماد ماشية اللبن ، BM = سماد ماشية اللحوم، F = العكرش ؛ عشب ، A = البرسيم الحجازى، C = الذرة ، S = فول الصويا ، W = القمح .).

أجسام المياه الحساسة. وإن ممارسات الإدارة السليمة للتربة والنبات والمياه – مثل: تقنيات التسميد، توقيت التسميد، الدورة الزراعية، الحرث، الرى، الصرف – التى تؤدى إلى تعظيم كفاءة الاستفادة للفوسفور من الأسمدة المعدنية والمخلفات تمثل التطبيقات العملية للمعرفة الأساسية المكتسبة من فهم دورة فوسفور التربة.

وبالنسبة لأغراض الإنتاج النباتى، فإن هذه الممارسات تركز على ضمان تعويض سريع لمحلول التربة لتحقيق تغذية مثالية بالفوسفور، وعلى ضمان أدنى فقد لفوسفور التربة وذلك لمنع تدهور التربة – على المدى الطويل – ومن ثمّ إنتاجيتها. وبرغم تشابه الممارسات الزراعية فى كثير من الأوجه والصلات، فإن ممارسات الإدارة البيئية لفوسفور التربة ينبغى أن تكون مكثفة ، ويكون لها حيز أقل من الخطأ بسبب المستويات المنخفضة من الفوسفور اللازمة للتعجيل بحدوث عملية التشبع الغذائى. وفى كل من الحالتين، فإن المعرفة الأساسية للتحولات الكيميائية والميكروبيولوجية والفيزيائية التى تحدث لفوسفور التربة ضرورية من أجل ابتكار أساليب تحقق كلا الهدفين. وتشمل التحولات الرئيسية الهامة للفوسفور غير العضوى تثبيت الفوسفور فى صور غير ذائبة عن طريق تفاعلات **الادمصاص والترسيب**، وذوبان الفوسفور عن طريق تفاعلات **عكس الادمصاص (الانطلاق) والانحلال** المعدنى. وتحولات الفوسفور العضوى فى التربة عبارة عن تفاعلات معدنة – تثبيت فى صورة عضوية بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة وعن طريق امتصاص الفوسفور بواسطة جذور النبات وحده أو بالارتباط مع فطر الميكوريزا.

٥ – ٣ – ١ ادمصاص وانطلاق فوسفور التربة :

يشير الادمصاص إلى إزالة الفوسفور الأيونى ($H_2PO_4^-$,HPO_4^{2-}) من المحلول بواسطة تفاعل كيميائى مع الجزء الصلب من التربة ، وهو مصطلح عام يشير إلى تكوين رابطة كيميائية بين أنيونات الفوسفات والجزء الغروى من التربة، ولكنه لا يحدد ميكانيكية احتجاز الفوسفور، بالرغم من افتراض أنواع عديدة لعملية الارتباط (شكل ٥ – ٩أ). والمكونات الأساسية فى التربة والرواسب المسؤولة عن تفاعلات الادمصاص هى: الطين، أكاسيد أو هيدروكسيدات الحديد والألومنيوم، كربونات الكالسيوم، المادة

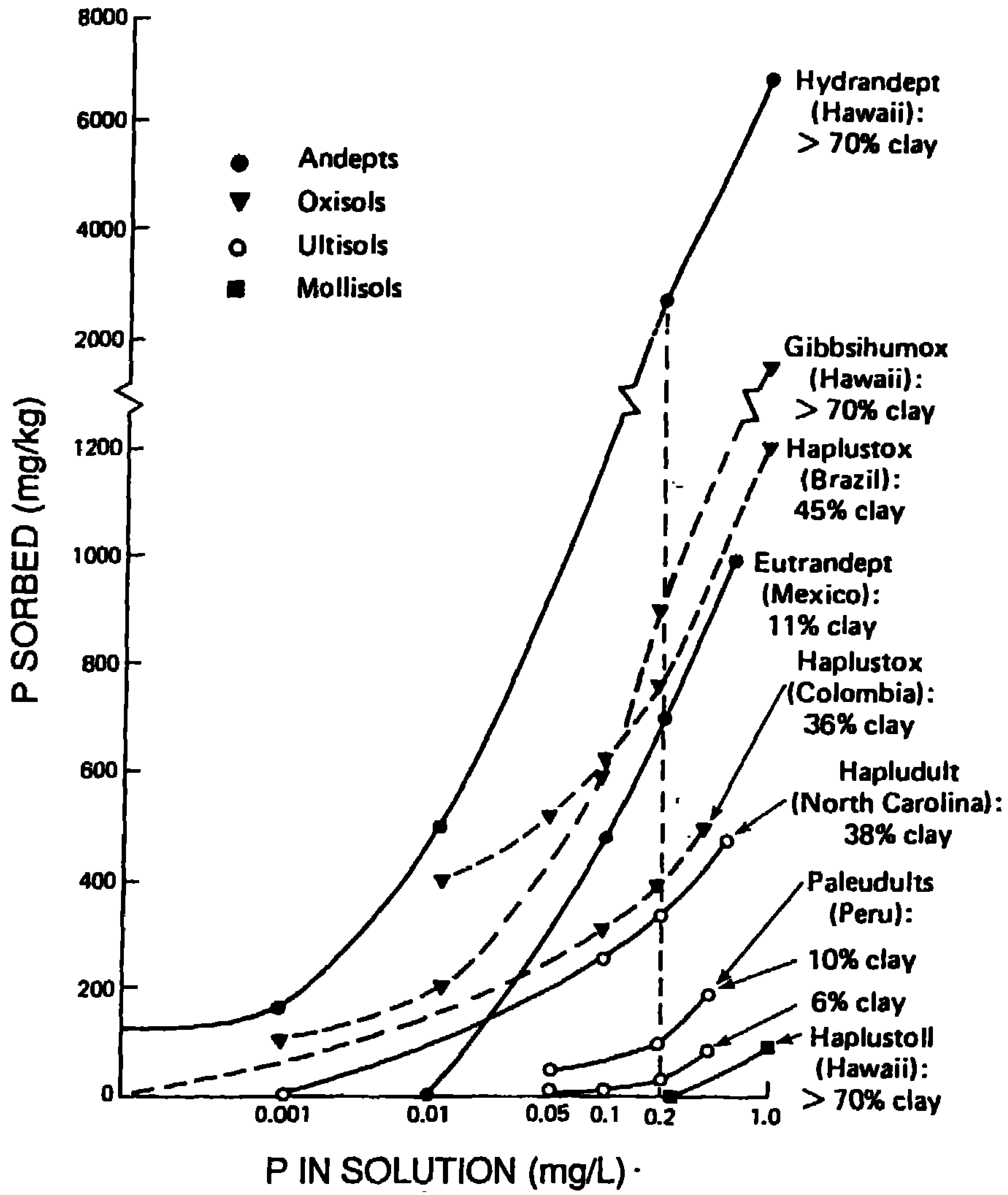


شكل ٥ – ٩ عمليات ادمصاص الفوسفور وانطلاقه (عكس الادمصاص) فى الأراضى (a) آلية مقترحة لادمصاص الفوسفور بواسطة مكونات التربة (M تمثل أيون معدن الحديد والألومنيوم فى الطين أو الأكاسيد) .(b) منحنى الادمصاص ومنحنى عكس الادمصاص للفوسفور ؛ ويتضح منهما ظاهرة "التردد" . عندما يضاف الفوسفور إلى التربة – كما هو الحال فى التسميد – ويزداد تركيز P فى المحلول الأراضى (x) (من ٠,٠١ إلى x1) ، يزداد P المدمص تبعـا لذلك . وبالرغم من ذلك ، هناك نقص فى المعكوسية الكاملة لعملية عكس ادمصاص P من الطور الصلب ، ويشار إليها بظاهرة "التردد" وذلك عندما ينقص تركيز P فى المحلول الأرضى من x1 إلى ٠,٠١ x بواسطة امتصاص النبات أو الغسيل . (Fixen and Grove , 1991.)

العضوية. ويعتبر الفوسفور المدمص – عادة – بطئ التيسر وقادراً على تعويض محلول التربة بالتدريج استجابة للامتصاص بواسطة النبات. ويستخدم مصطلح «فوسفور التربة المتحرك» «اللابايل» لوصف ذلك الجزء من الفوسفور المدمص الذى يكون جاهزا فى الحال «ميسراً بدرجة فورية» للامتصاص بواسطة النبات ويمكن استخلاصه بسهولة وقياسه، مع الفوسفور الذائب، بواسطة اختبار كيميائى للتربة.

وتشير عملية عكس الادمصاص إلى تحرير أو انطلاق الفوسفور من الطور الصلب إلى الطور السائل. وتحدث عملية عكس الادمصاص فى الأراضى عندما يستنفذ النبات الفوسفور الذائب عن طريق الامتصاص، وتنقص تركيزاته فى المحلول الأرضى إلى مستويات منخفضة جدا، كما تحدث أيضا فى النظم المائية حينما يتفاعل الفوسفور المرتبط بالرواسب مع المياه الطبيعية ذات التركيزات المنخفضة من الفوسفور. جزء بسيط فقط من الفوسفور المدمص فى معظم الأراضى يعتبر قابلاً للانطلاق بسرعة. ويثبت معظم الفوسفور المضاف من الأسمدة المعدنية أو العضوية بسرعة ويصير فى حالة غير عكسية، ولا يخضع لعملية عكس الادمصاص، وهذه الظاهرة يشار إليها **«تردّد الادمصاص»** (شكل ٥ – ٩ب). وتعكس ظاهرة التردد تحولات الفوسفور الذائب إلى صور غير ميسرة بدرجة كبيرة عن طريق عمليات مختلفة مثل: ترسيب الفوسفور فى صورة مركبات غير ذائبة، واحتجاز الفوسفور بواسطة المترسبات الأخرى (مثل أكاسيد الحديد والألومنيوم)، والانتشار البطئ للفوسفور فى الأطوار الصلبة فى الأراضى. ولقد أوضحت الدراسات أن معدل انطلاق الفوسفور سريع جدا فى البداية، إلا أنه فى الغالب يتناقص بدرجة ملحوظة خلال وقت قصير. ومن وجهة النظر البيئية، فإن هذا يقترح أن سقوط الأمطار الكثيف والقصير قد يستنفذ بسرعة الجزء القابل للانطلاق من فوسفور التربة ويعيد توزيع هذا الفوسفور فى مياه الأمطار السارية.

وتختلف الأراضى والرواسب كثيرا فى قدرتها على ادمصاص وانطلاق الفوسفور. وبصفة عامة، فالأراضى عالية التجوية سوف تدمص فوسفور أكثر، وهذا راجع إلى محتواها الأكبر من الطين وأكاسيد الألومنيوم والحديد. وكما هو موضح فى شكل ٥ – ١٠، فكمية الفوسفور المدمص التى يجب أن تحدث للوصول إلى تركيز فوسفور فى المحلول كافٍ لنمو النبات (٢ر٠ جزء فى المليون) حوالى ٢٥٠٠ ملليجرام

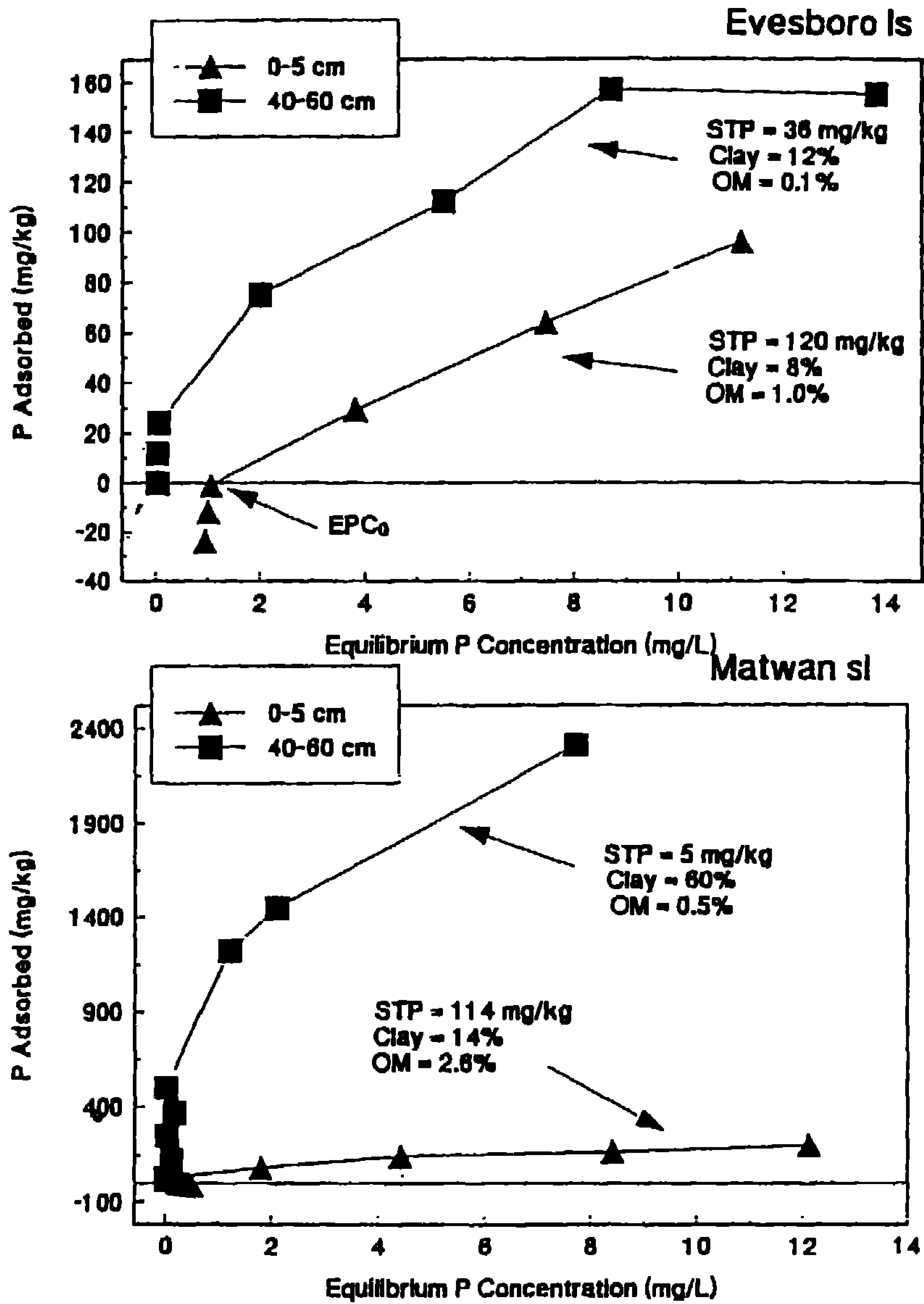


شكل ٥ – ١٠ الاختلافات فى سعة ادمصاص الفوسفور بواسطة الأراضى بين أربع مجاميع أراضى . يمثل الخط الرأسى المتقطع كمية الفوسفور التى يجب أن تدمص للوصول فى المحلول إلى مستوى كاف لنمو معظم المحاصيل (٠,٢ ملليجرام / لتر).

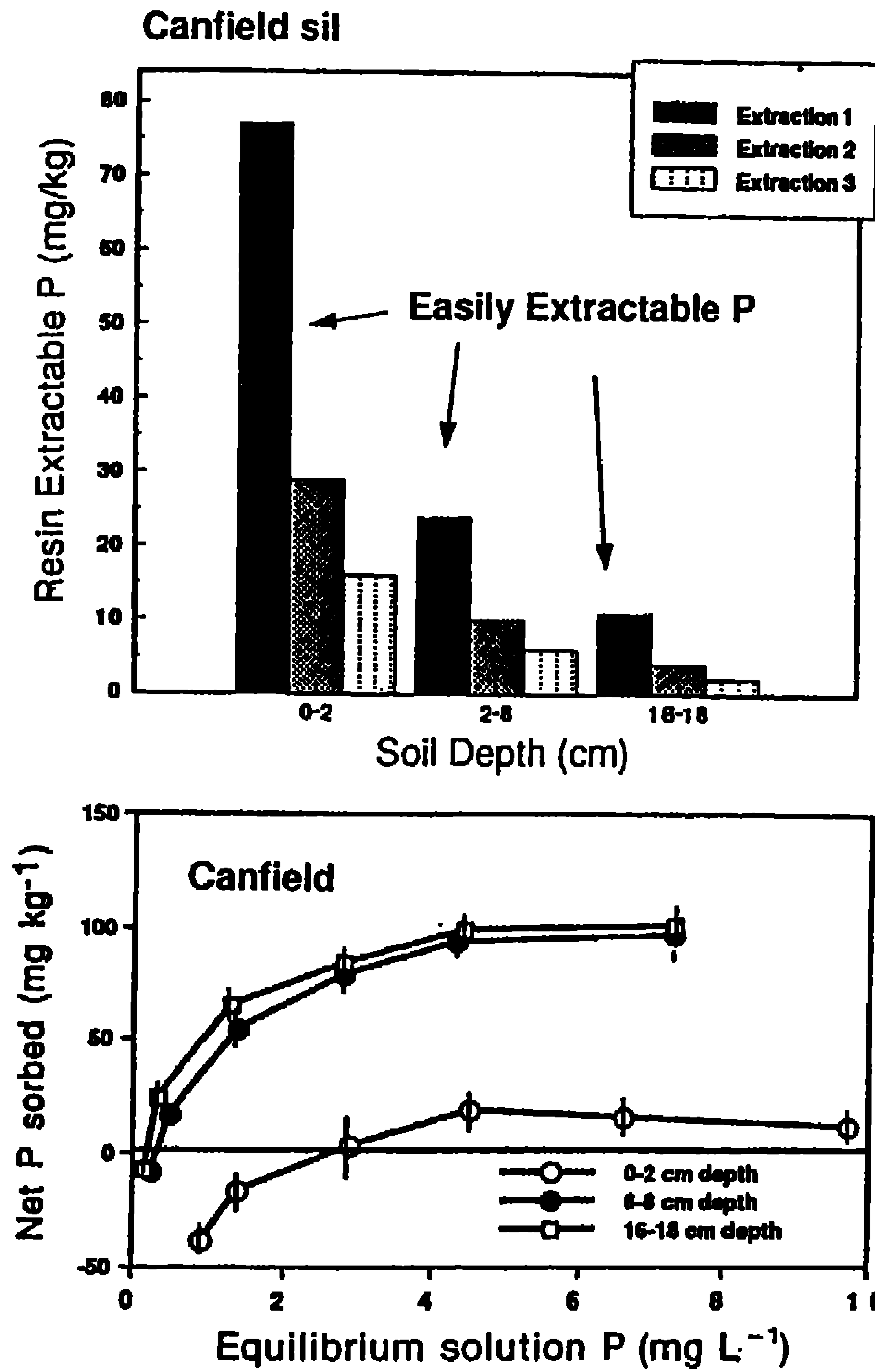
(Sanchez and Uehara, 1980.)

فوسفور/ كيلو جرام فى أراضى هاواى (إنسيبتيسول) التى تحتوى على ٧٠٪ طين، مقارنة بحوالى ٥٠ ملليجرام فوسفور/ كيلو جرام تربة (أولتيسول) فى بيرو التى تحتوى على ٦٪ طين. ويختلف الادمصاص بدرجة ملحوظة مع عمق التربة، كما يتأثر بالعمليات الزراعية التى تُغيِّر مستويات الفوسفور الميسر فى التربة، ورقم حموضة التربة، ونسبة المادة العضوية مثل: عمليات التسميد غير العضوى، إضافة الجير، التسميد العضوى، عمليات الحرث القليل. ويوضح شكل ٥ – ١١ أهمية آفاق تحت التربة فى عملية ادمصاص الفوسفور وغسيله فى أرضين من أراضى الهضبة الساحلية للأطلنطى فأرض إڤيسبورو الرملية فى آفاقها السطحية أو آفاق تحت التربة، لها قدرة ادمصاص خلال قطاع التربة أقل بكثير مقارنة بأرض ماتاوان الطمى رملية، والتى لها أفق تحت التربة يحتوى على ٦٠٪ طين. وتعكس أرقام اختبارات التربة العالية للفوسفور فى الآفاق التحتية لأرض إڤيسبورو حركة الفوسفور الكبيرة فى القطاعات مع تراكم بسيط للطين. ويمكن أيضا لممارسات الحرث التى تؤثر فى توزيع الفوسفور أن تغير من ادمصاص وانطلاق الفوسفور. كما أن الزراعة بدون حرث، وفيها لا يندمج الفوسفور فى التربة، تؤدى فى الغالب إلى تكوين طبقات مميزة من الفوسفور فى الأراضى، وتصير قيم الفوسفور عالية جدا فى السنتيمترات القليلة العليا. وطبقا لماهو موضح فى شكل ٥ – ١٢؛ فإن هذا يمكن أن يؤدى ليس فقط إلى انخفاض كبير فى قدرة ادمصاص الفوسفور فى هذا العمق (صفر – ٢سم)، ولكن يؤدى أيضا إلى وجود مستويات عالية جدا للفوسفور السهل الاستخلاص، مقارنة بباقى الأفق العلوى للتربة (٦ – ١٨سم)، وهذا الوضع يمكن أن ينتج عنه مستويات عالية للفوسفور الذائب فى مياه الأمطار السارية.

وبصفة عامة، الأراضى المنخفضة فى الفوسفور، الحامضية والمرتفعة فى الطين أو أكاسيد الحديد والألومنيوم، وخصوصا الأكاسيد غير المتبلورة، لها أعلى سعة لادمصاص الفوسفور. وفى الأراضى الجيرية، فإن كربونات الكالسيوم، وأكاسيد الحديد هى العوامل السائدة التى تتحكم فى ادمصاص الفوسفور. والأراضى الرملية لها سعة منخفضة لادمصاص الفوسفور وهى أكثر الأراضى حساسية أى سريعة التأثر برشح الفوسفور، وهى تشبه فى ذلك الأراضى الغنية بالمادة العضوية (أراضى



شكل ٥ – ١١ معادلات ادمصاص الفوسفور لعينتين أراضى من هضبة ساحل الأطلنطى ، مأخوذتين على عمقين مختلفين . يمثل العمق صفر – ٥ سم منطقة التفاعل الأعظم بين ماء المطر السارى وفوسفور التربة ، ويمثل العمق ٤٠ – ٦٠ سم احتمال ادمصاص الفوسفور بواسطة تحت التربة (اختبار التربة = Mehlich ,1 = ٠,٠٥ ع حمض هيدوكلوريك + ٠,٠٢٥ ع حمض كبرتيك) EPCo عبارة عن تركيز الفوسفور فى المحلول عند الاتزان عندما يتساوى معدل ادمصاص الفوسفور مع معدل انطلاقه. (Sims, unpublished data.)



شكل ٥ – ١٢ مقارنة بين الفوسفور سهل الاستخلاص ومعادلات ادمصاص الفوسفور في الأجزاء العليا والسفلى في طبقة الأرض العليا الطمى سلتية من Canfield

(Guertal et al., 1991.)

البيت، الأراضى المضاف إليها أسمدة عضوية بكثافة عالية ،... إلخ) حيث تُشجع المادة العضوية الذائبة حركة الفوسفور عن طريق تغطية (تغليف) السطوح المسؤولة عن ادمصاص الفوسفور. وبالاضافة إلى ذلك، فقد وُجد أن مركبات الفوسفور العضوية المعقدة ترشح بسرعة كبيرة ولأعماق أكبر مقارنة بالفوسفور غير العضوى الذائب، وهذا يؤدى إلى التساؤل عن حركة تحت السطح للفوسفور فى المياه السطحية بواسطة الانسياب الجانبى للمياه الجوفية، بصفة خاصة فى الأراضى ذات الصرف الصناعى.

ويمكن تقدير ادمصاص الفوسفور بواسطة الأراضى كميًا باستخدام معادلات رياضية تربط كمية الفوسفور المحتجز بالطور الصلب (P_{ads}) بتركيز الفوسفور فى المحلول عند الاتزان، عندما تتوقف تفاعلات الادمصاص (P_{eq}). ويمكن الحصول على هذه النتائج عن طريق تفاعل التربة مع محاليل تتدرج فى تركيزها الابتدائى للفوسفور من صفر إلى ٢٠ ملليجرام P / لتر. ويشار إلى رسم العلاقة بين كمية الفوسفور المدمص مع تركيز الفوسفور عند الاتزان «بمعادلات الادمصاص» كما هو موضح فى شكل ٥ – ١١، وشكل ٥ – ١٢. وأكثر العلاقات استخداماً هى معادلتى لانجمير وفرندليتش، ويمكن التعبير عنهما رياضياً كالآتى:

$$P_{ads} = \frac{KP_{eq}b}{1+KP_{eq}} \qquad (5-1)$$

$$P_{ads} = KP_{eq}^{\ 1/n} \qquad (5-2)$$

فى معادلة لانجمير فإن العامل K يصف طاقة ربط الفوسفور بالطور الصلب، والعامل b يقدر الكمية العظمى من الفوسفور التى يمكن أن تدمص. وبالنسبة لمعادلة فرندليتش، فإن العاملين n, k عبارة عن ثوابت تجريبية تختلف تبعا لخواص التربة. وبالرغم أن هاتين المعادلتين لم تقدما معلومات آلية تُفسّر عمليات ادمصاص الفوسفور، إلا أنهما مفيدتان فى مقارنة سعة / أو قدرة الادمصاص فيما بين الأراضى. ولقد استخدما أيضا لتقريب كمية الفوسفور التى يجب أن تدمص بواسطة الأراضى المختلفة؛ وذلك لرفع تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى عند الاتزان إلى القيمة المرغوبة أو القيمة العظمى.

وهناك عامل آخر مفيد يمكن الحصول عليه من معادلات الادمصاص هو "EPC_0"أو تركيز الفوسفور المتزن عند ادمصاص صفر. وتمثل قيمة EPC_0 تركيز الفوسفور المتزن في المحلول بواسطة الطور الصلب (للتربة، والرواسب) عندما يتساوى معدل الادمصاص مع معدل الانطلاق. وتستخدم قيم EPC_0 لوصف قدرة الأراضى السطحية، ورواسب الجداول، ومادة شواطئ الجداول التى فى حالة تلامس مع مياه الأمطار السارية أو مياه الجداول – لكى تزيل الفوسفور من المياه السارية أو تطلقه فيها. فحبيبات التربة أو الرواسب ذات قيم EPC_0 العالية والتى تلامس مياه ذات محتوى فوسفور منخفض (مثل مياه الأمطار، المياه السارية تحت السطح) سوف تطلق الفوسفور فى هذه المياه ؛ ويحدث العكس لو كان الطور الصلب لهEPC_0 منخفض، فيمكنه أن يخفض تركيز الفوسفور فى مياه الجداول أو مياه الأمطار السارية، وهذا بالتالى يقلل احتمال حدوث عملية التشبع الغذائى فى اتجاه مجرى الجدول. وإن قيم EPC_0 المرتفعة للسنتيمترات القليلة العليا لتربة إڤيسبورو الموضحة فى شكل ٥ – ١١ (وهى حوالى واحد ملليجرام / لتر)، وتربة كانفيلد الموضحة فى شكل ٥ – ١٢ (حوالى ٣ ملليجرام / لتر) توضح أن كُلاً من هاتين التربتين ذات المحتوى العالى فى الفوسفور سوف ينطلق منهما الفوسفور الذائب بسرعة وبسهولة إلى مياه الأمطار السارية.

٥ – ٣ – ٢ ترسيب فوسفور التربة :

يمكن تعريف عملية الترسيب بأنها تكوين مركبات غير ذائبة منفصلة فى الأراضى، ويمكن النظر إليها على أنها عكس عملية الذوبان المعدنى. وتشمل الصور الأكثر شيوعًا للفوسفور المترسب نواتج التفاعلات بين الفوسفور الذائب الأيونى وأيونات الكالسيوم والألومنيوم والحديد. وفى الأراضى الجيرية، حيث يكون رقم الحموضة مرتفع، والكالسيوم الذائب هو الكاتيون السائد، تؤدى إضافة الفوسفور الذائب فى البداية إلى تكوين فوسفات ثنائى الكالسيوم ثنائى التأدرت ($Ca\ HPO_4 . 2H_2O$)، وهذا يتحول ببطء مع مرور الوقت إلى مركبات فوسفات أكثر ثباتا مثل أوكتا

كالسيوم فوسفات [$Ca_8 H_2(PO_4)_6 . 5H_2O$]، وعلى المدى الطويل يتحول إلى مركب فلورو أباتيت [$Ca_{10} (PO_4)_6 F_2$]. إن كيمياء مركبات فوسفات الكالسيوم مفهومة جيداً، وقد درست باستخدام الرسومات البيانية لثبات المعادن، اعتماداً على دراسات الاتزان الكيميائى، وهذه يمكنها أن تتنبأ بالمعدن الذى يتحكم فى نوبان فوسفور التربة. وباختبار تأثير الممارسات الزراعية أو خواص التربة على التغيرات الحادثة فى رسومات ثبات المعادن يمكن أن تساعد المرء فى فهم عملية تدوير الفوسفور فى الأراضى على المدى البعيد. وفى الأراضى الحامضية، حيث يكوِّن الألومنيوم والحديد الكاتيونات الرئيسية الذائبة، فإن فوسفات الحديد والألومنيوم هى المترسبات السائدة. وإن وجود أكاسيد حديد وألومنيوم متبلورة جزئيا أو غير بللورية فى هذه الأراضى والتى يمكنها أن تُثبِّت (تربط) الفوسفور كلما حدث لها تبلور، يجعل التعرف على الأطوار الصلبة المنفصلة للفوسفور المرتبط بالحديد (Fe - P) والفوسفور المرتبط بالألومنيوم أمراً صعبًا. ويعتمد نوبان مترسبات الفوسفور فى الأراضى الجيرية والأراضى الحامضية بدرجة كبيرة على رقم الحموضة. وبصفة عامة، يكون نوبان الفوسفور وبالتالى تيسره للنباتات (ومياه الأمطار السارية أو مياه الغسيل) أكبر مايمكن تحت الظروف ضعيفة الحموضة (رقم حموضة ٠ ر٦ – ٥ ر٦). ولقد نجح تطبيق مبدأ الترسيب الكيميائى لعلاج البحيرات كافية التغذية إلى حد بعيد، ويشمل عادة إضافة الشبة (كبريتات الألومنيوم) إلى الجزء العلوى من المياه بغرض ترسيب الفوسفور فى صورة فوسفات ألومنيوم. وبالإضافة إلى الترسيب المباشر للفوسفور الذائب، تكوِّن الشبة طبقة من هيدروكسيد الألومنيوم على قاع البحيرة، وهى ذات قدرة تفاعلية عالية مع الفوسفور الذى ينطلق فيما بعد من رواسب البحيرة.

٥ – ٣ – ٣ معدنة فوسفور التربة وتثبيته في صورة عضوية :

يمثل الفوسفور العضوى فى الأراضى، أو الفوسفور المضاف إلى الأراضى عن طريق المخلفات العضوية أو بقايا المحاصيل مصدراً مهمًا للفوسفور بالنسبة لنمو النبات، بالإضافة إلى أنه مصدر متوقع للفوسفور الذائب الذى قد يفقد فى مياه

الأمطار السارية أو خلال عملية الغسيل. وتشير عملية المعدنة إلى التحلل الميكروبي للمركبات العضوية، والتي تؤدي إلى انطلاق الصور غير العضوية للعناصر الغذائية في محلول التربة. وعلى العكس تماماً، تعرف عملية التثبيت في صورة عضوية بأنها «ارتباط» العناصر المعدنية مثل الفوسفور بواسطة كائنات التربة الدقيقة في مركبات بيوكيميائية ضرورية لعملية البناء الميكروبي. ويتم التحكم في عملية معدنة الفوسفور العضوي بدرجة كبيرة بواسطة نسبة الكربون في المادة العضوية، والتي تعمل كمصدر للطاقة للكائنات الدقيقة المحللة. فنسب «الكربون: الفوسفور» العالية توفّر طاقة كبيرة وتشجع النمو الميكروبي والذي بدوره يستهلك جميع الفوسفور الميسر؛ بينما نسب «الكربون: الفوسفور» المنخفضة يمكن أن تؤدي إلى زيادة في الفوسفور الذائب عن الاحتياجات الميكروبية وبذلك يكون الفوسفور ميسراً للامتصاص بواسطة النبات. وتلعب الظروف البيئية، كما ينتظر، دوراً مُهمًا في معدل ودرجة تحلل مركبات الفوسفور العضوية. وتعتبر الظروف المثلى لمعدنة الفوسفور العضوي مشابهة لتلك الخاصة بالنتروجين العضوي في التربة (انظر الفصل الرابع). فبمجرد أن يتمعدن الفوسفور من المادة العضوية، فإنه يتحول بسرعة إلى صور غير عضوية مثل الفوسفور المدمص أو الفوسفور المترسب. وفي حالات كثيرة، تؤدي الإضافات المتكررة، وعلى المدى الطويل للأسمدة الحيوانية والمخلفات العضوية الأخرى للأراضي إلى زيادة الفوسفور الكلي غير العضوي في الأراضي، وليس الفوسفور الكلي العضوي (جدول ٥ – ٢).

٥ – ٤ انتقال الفوسفور في البيئة :

لقد وجد أن جميع صور الفوسفور – الذائبة، والمدمصة، والمترسبة، والعضوية – حساسة للانتقال من الأراضي إلى الأجسام المائية. والحقيقة التي تعني أن أكبر احتياطي للفوسفور في بيئة الكرة الأرضية هو رواسب المحيط تُعتبر برهاناً على أن «تسرب» الفوسفور من المصادر الجيولوجية عملية مستمرة. ومقاومة هذا الانتقال أمر ضروري لتلافي التأثيرات غير المرغوبة المصاحبة لعملية التشبع الغذائي، وأيضا لتلافي

جدول ٥ – ٤ أمثلة للطرق المستخدمة فى مقاومة فقد الفوسفور فى مياه الأمطار السارية.

ممارسات الحراثة لنبات الذرة						
	١٩٨٠	١٩٨١		١٩٨٢	١٩٨٣	
طريقة الحرث	سبتمبر	يونية	يولية	أكتوبر	يونية	يولية
	فقد الفوسفور الكلى فى مياه الأمطار السارية (مجم / م٣)					
التقليدية	١٣٣	٨	٢٣٠	٢٢٠	١٧٥	٢٢
بالحفار	٢١	< ١	٢٠	٣٧	٦٧	١١
بدون حرث	٣٩	< ١	٢٠	٢٤	٢١	٥

		إدارة بقايا عيدان الذرة		
عرض القطاع (م)	غطاء ٪	P الميسر (جم/ساعة/م عرض) الداخل	الخارج	النقص فى فقد P (٪)
١ر٨	٢٧	٠ر٩٨	٠ر٧٧	٢١
١ر٨	٥٠	ر٣٩	٠ر٧٠	٥٠
٢ر٧	٥٠	٢ر٦٣	٠ر٤٨	٨٢
٤ر٦	٥٠	١ر٨٠	٠ر٥١	٧٢

علاج مياه المجارى باستخدام شريط من قصب حشيشة الكنارى كفلتر		
	كفاءة P المزال من مياه المجارى (٪)	
إدارة النبات الغطاء	P الذائب	P الكلى
قطع متعدد ، بقايا المحصول	٣٢	٧٠
قطع متعدد ، بقايا أوراق	٢٠	٦٢
قطع مرة واحدة، بقايا أوراق	٤	٥٠

(Andraski et al., 1985 , Albert et al., 1981 , and Payer and Weil, 1987.)

ضياع الموارد الطبيعية الذى يحدث عندما تستخدم رواسب الفوسفور الجيولوجية أو المخلفات العضوية (مثل: الأسمدة الحيوانية، الحمأة) كمحسنات للتربة بغرض تحسين نمو النبات والمحصول. ويحدث انتقال فوسفور التربة بصفة أولية عن طريق الانسياب السطحى، بالرغم أن مستويات الأساس للفوسفور الداخل إلى الجداول والبحيرات عن طريق الانسياب تحت السطحى تعكس - بكل تأكيد - تأثيرات استخدام الأراضى. ويمثل الانسياب المباشر للفوسفور فى الأنهار من أنظمة معالجة مياه الصرف الصحى صورة مختلفة جلية للانتقال الذى يتطلب تكاليف اقتصادية وتكنولوجية كبيرة وذلك بغرض تخفيض تأثيرات الفوسفور على البيئة المائية.

٥ - ٤ - ١ انتقال الفوسفور عن طريق الانسياب السطحي :

يمكن للماء المنساب عبر سطح التربة أن يذيب وينقل الفوسفور الذائب، أو يجرف وينقل حبيبات التربة الدقيقة الحاملة للفوسفور. ويتكوّن الفوسفور الذائب من فوسفور غير عضوى أو عضوى، بينما تتكون حبيبات التربة الدقيقة الحاملة للفوسفور بصفة عامة من حبيبات التربة الدقيقة (مثل: الطين) والمادة العضوية الخفيفة. ويمكن أن تعزى الكمية الصغيرة للفوسفور الذائب أو الفوسفور القابل للانطلاق بسرعة فى معظم بيئات الأراضى إلى درجة ذوبان الفوسفور المنخفضة، والسعة الكبيرة لمعادن الطين لادمصاص الفوسفور، والتركيز العالى للفوسفور فى المادة العضوية بالتربة. وينتج عن هذا انتقال معظم الفوسفور الكلى المتكون فى هيئة حبيبات تربة دقيقة حاملة للفوسفور. وهذا صحيح خاصة عندما تحتوى مياه الأمطار السارية كميات كبيرة من المواد الصلبة المعلقة. ومع ذلك، إذا تم استخدام عمليات الفلترة (الترشيح) الطبيعية أو الصناعية (مثل: الغابات، الأراضى الرطبة، شواطئ ممرات المياه المزروعة أعشاب) بغرض إزالة الفوسفور المرتبط بالرواسب، حينئذ فإن انتقال الفوسفور الذائب يصبح ذا أهمية أكبر. وبالمثل، عندما تكون الأراضى بها زيادة من الفوسفور، مثلما يحدث غالباً فى المناطق التى تضاف لها مخلفات عضوية بصفة متكررة من خلال العمليات الزراعية، فإن مستوى الفوسفور الذائب يكون فى غاية الأهمية.

وفى الواقع فإن جميع الفوسفور الذائب المنقول عن طريق مياه الأمطار السارية يكون ميسراً بيولوجيا، ولكن الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة الذى يدخل الجداول والمياه السطحية الأخرى يجب أن يحدث له نوع من تفاعل الإذابة (مثل: الانطلاق) قبل أن يصبح ميسراً للنباتات والكائنات المائية. ويتعقيد أكثر للعملية فهناك حقيقة وهى أنه خلال عملية الانتقال نفسها، فإن الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة يمكن أن يحدث لهما تفاعلات مع الأراضى التى تقع على حدود الحقول والبحيرات، والمياه المنسابة، ورواسب قيعان وضفاف الجداول. ويمكن لهذه التفاعلات أن تُغَيِّر (تقلل) بدرجة مثيرة قدرة الفوسفور المفقود أصلا فى مياه الأمطار السارية على تشجيع حدوث عملية التشبع الغذائى فى اتجاه مجرى الجدول. وتهدف ممارسات إدارة الأراضى إلى تقليل فقد الفوسفور فى مياه الأمطار السارية عن طريق تقليل زيادة فوسفور التربة الذائب وتقليل فقد الحبيبات الدقيقة الحجم والمادة العضوية بالانجراف. وتعتبر برامج إدارة العنصر الغذائى الموجهة إلى الأسمدة المعدنية والمخلفات العضوية، وممارسات صيانة الأراضى المحروثة، وتقنيات مقاومة الانجراف مثل: المصاطب، زراعة ضفاف الممرات المائية بالأعشاب ؛ أمثلة لاستراتيجيات تستخدم لتقليل فقد الفوسفور – إلى أدنى حد – فى مياه الأمطار السارية.

إن الآليات المتضمنة فى عملية انتقال الفوسفور واضحة ومباشرة، وتشمل انطلاق أولى أوذوبان الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة، يعقبها حركة المياه من التربة إلى الجدول أو النهر، وأخيراً تواجه بيئة مائية حساسة، وقد يُحمل أيضًا الفوسفور العضوى الذائب الذى لا يدمص بواسطة حبيبات التربة بواسطة مياه الأمطار السارية. ومن المهم من وجهة نظر إدارة التربة مراعاة الحقيقة التى تعنى أن معظم الفوسفور الذائب الداخل فى مياه الأمطار السارية ينشأ أصلا من تفاعل المياه المنسابة مع السطح الأعلى للتربة (صفر – ٢سم). وأى ممارسة إدارة تقلل – إلى أدنى حد – مستويات الفوسفور الذائب عند هذا العمق (مثل: دمج السماد أو المخلف العضوى) أو تشجع رشح الماء فى التربة ؛ حيث يمكن للفوسفور الذائب أن يدمص بواسطة مكونات التربة ؛ سوف تقلل فقد الفوسفور إلى البيئة. وبطريقة مماثلة، فإن سعة الرشح الطبيعية للمناطق غير الزراعية المتاخمة للحقول أو سعة الادمصاص العالية لرواسب الجداول وضفافها يمكن أن تقلل انتقال الفوسفور عن طريق

ادمصاص الفوسفور من مياه الأمطار السارية، مع افتراض توافر وقت كاف للتلامس بين المياه الغنية بالفوسفور وهذه الرواسب.

ويعرض جدول ٥ – ٤ بعض أمثلة لطرق تستخدم لتقليل فقد الفوسفور فى مياه الأمطار السارية، وهى تُبين أهمية تقليل عمليات الحرث (مثل الحرث باستخدام المحراث الحفار أو بدون حرث بتاتاً؛ عكس ماهو مألوف أو متبع)، ودفن بقايا المحاصيل فى قنوات، وزراعة ضفاف المجارى المائية بالأعشاب – فى مسك أو حبس الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بالرواسب. وتوضح هذه الأمثلة أيضا أهمية اعتبار جميع جوانب ممارسات مقاومة مياه الأمطار السارية من أجل تعظيم الكفاءة الكلية لنظام الإدارة. فالحرث باستخدام المحراث الحفار، على سبيل المثال، قد يكون مؤثراً فى مقاومة الانجراف ومياه الأمطار السارية تماماً مثل عدم الحرث على الإطلاق فى أراضى معينة. والحرث باستخدام المحراث الحفار يُحسّن (يزيد) أيضا المحصول وامتصاص العنصر الغذائى بواسطة النبات عن طريق تكسير وتفكيك مناطق التضاغط وتحسين نمو الجذور، كما أنه يعتبر طريقة لدمج المخلفات العضوية بالتربة، ولو على الأقل جزئيا. ولقد وجد أن القنوات الأضيق لدفن بقايا المحاصيل فعالة مثل القنوات الأوسع تماماً فى تخفيض فقد الفوسفور، فى حالة وجود غطاء نباتى كاف للتربة. وتؤدى ممارسات القطع الزائد أو المتكرر للأعشاب على ضفاف المجارى المائية إلى زيادة كفاءة إزالة الفوسفور فى نظم تنقية مياه الصرف الصحى المعتمدة على الانسياب على الأراضى. وبالرغم من ذلك، فإن تلف تجهيزات ضفاف المجارى المائية المزروعة بالحشائش، والذى يسببه القطع الزائد لهذه الحشائش يُنتج أخاديد أو قنوات يمكنها أن تساهم فى زيادة سريان مياه الأمطار. وفى كل من هذه الأمثلة، فإن الحاجة إلى تقليل فقد الفوسفور يجب أن تتزن ضد الجوانب الأخرى للنظام (مثل: نمو المحصول فى أراضى منضغطة بدرجة شديدة، فقد الأراضى الزراعية عن طريق تحويلها إلى شرائح ترشيح، الزراعة المستدامة للحشائش على ضفاف المجارى المائية) وذلك لتحقيق أفضل كفاءة لممارسات الإدارة.

إن عملية انتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة أو تفاعلاته التالية معقدة بدرجة كبيرة. وينشأ الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة ليس فقط من

انجراف التربة، ولكن أيضًا من قيعان وضفاف الجداول أو مناطق الصرف التى تحمل المياه من الحقل إلى جسم المياه السطحية. وكما هو الحال مع جميع حالات الانجراف، فإن فقد الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة يمثل انفصال حبيبات التربة الدقيقة كنتيجة للطاقة التى تحتويها المياه الساقطة أو المياه السارية. وسوف تحدد طبيعة سقوط الأمطار أو سريانها على سطح الأرض مستوى الطاقة للمياه، بينما يؤثر قوام التربة وبنائها فى كمية الطاقة اللازمة لتفكيك ونقل حبيبات التربة. ونظراً لأن الحبيبات الأصغر حجماً والأخف وزناً تحتاج طاقة أقل لازاحتها وحملها، فإنه ليس من المدهش أن معادن الطين والمادة العضوية – وهى مكونات تربة ذات كثافة منخفضة نسبيا – لها الأفضلية (الأولوية) فى الانتقال فى مياه الأمطار السارية. وبمجرد دخول مكونات التربة الصلبة إلى الجدول أو النهر، يصبح مصيرها النهائى هو أن تترسب من المياه فى صورة رواسب. وإن إعادة تعليق هذه الرواسب كما يحدث خلال سقوط أمطار غزيرة، أو انسياب سريع للجداول، جنبا إلى جنب مع انفصال حبيبات التربة من شواطئ الجدول، يمكن أن يزيد انتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة فى تاريخ لاحق. وبصفة عامة، فإن ممارسات الاستخدام المكثف للأراضى – مثل أنشطة البناء الحضرية، والتعدين السطحى، والأراضى الزراعية التى تحرث بطريقة تقليدية – سوف تتضمّن نسبة أكبر لانتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة من مياه الأمطار السارية على السطح، مقارنة بالرواسب المعاد تعليقها ومواد ضفاف الجداول. وفى النظم البيئية الطبيعية والمناطق التى تقل فيها عمليات صيانة التربة من انجراف مواد التربة الصلبة، فإن دور الجداول فى نقل الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة يصبح فى غاية الأهمية.

تحتوى الحبيبات المنقولة فى مياه الأمطار السارية على كميات أعلى فى الفوسفور، والمادة العضوية، والعناصر الغذائية الأخرى، مقارنة بالتربة التى نشأت منها هذه الحبيبات. وهذا الإغناء راجع إلى سعة الادمصاص الأكبر لحبيبات الطين الأصغر حجما والتركيزات العالية نسبيا للفوسفور فى المادة العضوية، مقارنة بحبيبات السلت والرمل (جدول ٥ – ٥). ولقد تطوّر مفهوم «نسبة الإغناء» لكى يستخدم فى

تحديد مناطق تجمع الأمطار حيث تتطلب ممارسات إدارة مكثفة بمستوى أكبر لمقاومة عملية إغناء العنصر الغذائى للمياه السطحية. وتحسب «نسبة الإغناء» بأنها النسبة بين تركيز الفوسفور فى حبيبات التربة الدقيقة الموجودة فى مياه الأمطار السارية وتركيزه فى مصدر التربة. ولقد أوضحت البحوث أن نسب الإغناء للفوسفور الكلى والميسر لها علاقة وثيقة بكمية التربة المفقودة من منطقة تجمع الأمطار، وهذا يعطى أساسًا كميًا لتقدير تأثير استخدام الأرض على فقد الفوسفور الذائب، والميسر بيولوجيا، والمرتبط بحبيبات التربة الدقيقة، وبالتالى على إنتاجية الأراضى والمياه السطحية فى مستجمعات الأمطار. وقد أدى التقدم الحديث فى البحوث إلى تكوين نماذج أثبتت نجاحها فى التنبؤ بفقد الفوسفور من عوامل يمكن الحصول عليها مثل فقد التربة بالانجراف، واختبار التربة فى الفوسفور، وخواص التربة (مثل: نسبة الطين، المادة العضوية، فوسفور التربة الكلى) (شكل ٥ – ١٣).

وبمجرد انتقال الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة ودخوله البحيرة، فإن كثيرا من العمليات الحادثة فى دورة فوسفور التربة تستمر، ولو بمعدلات مختلفة. ويؤثر حجم الحبيبات ودرجة الحرارة النسبية للمياه المتدفقة وللبحيرة فى التوزيع الأولى للرواسب داخل البحيرة. ولعل أحد الأسباب الرئيسية لظاهرة التشبع الغذائى هو ارتفاع درجة العكارة المصاحبة للحبيبات دقيقة الحجم التى تستقر ببطء كبير إلى قاع البحيرة. وإن الطبيعة العكرة لعمود المياه العلوى تقلل نفاذ الضوء، وتقل بذلك المنطقة الضوئية ؛ وبسبب أن الحبيبات الدقيقة الأصغر حجما تحتوى عادة على نسبة فوسفور مرتفعة مقارنة بالحبيبات الخشنة التى تستقر فى القاع بسرعة، فإن التأثير الأولى الكلى لها هو تنشيط الخصوبة البيولوجية فى الجزء العلوى للمياه. وعلى المدى الطويل يحدث فيما بعد انطلاق الفوسفور من الرواسب التى استقرت مع الزمن فى قاع البحيرة. ويعتبر الفوسفور المدمص بواسطة الطين، وأكاسيد الحديد والألومنيوم، وكربونات الكالسيوم المصادر الرئيسية للفوسفور القابل للانطلاق. وتؤثر العمليات الفيزيائية والكيميائية التى تحدث فى البحيرة بدرجة كبيرة فى عملية الانطلاق؛ فالتغيرات فى درجة الحرارة أو الإثارة التى تحدثها العواصف يمكنها أن تجعل

جدول ٥ – ٥ متوسط نسبة الإغناء لستة أراضى غربية.

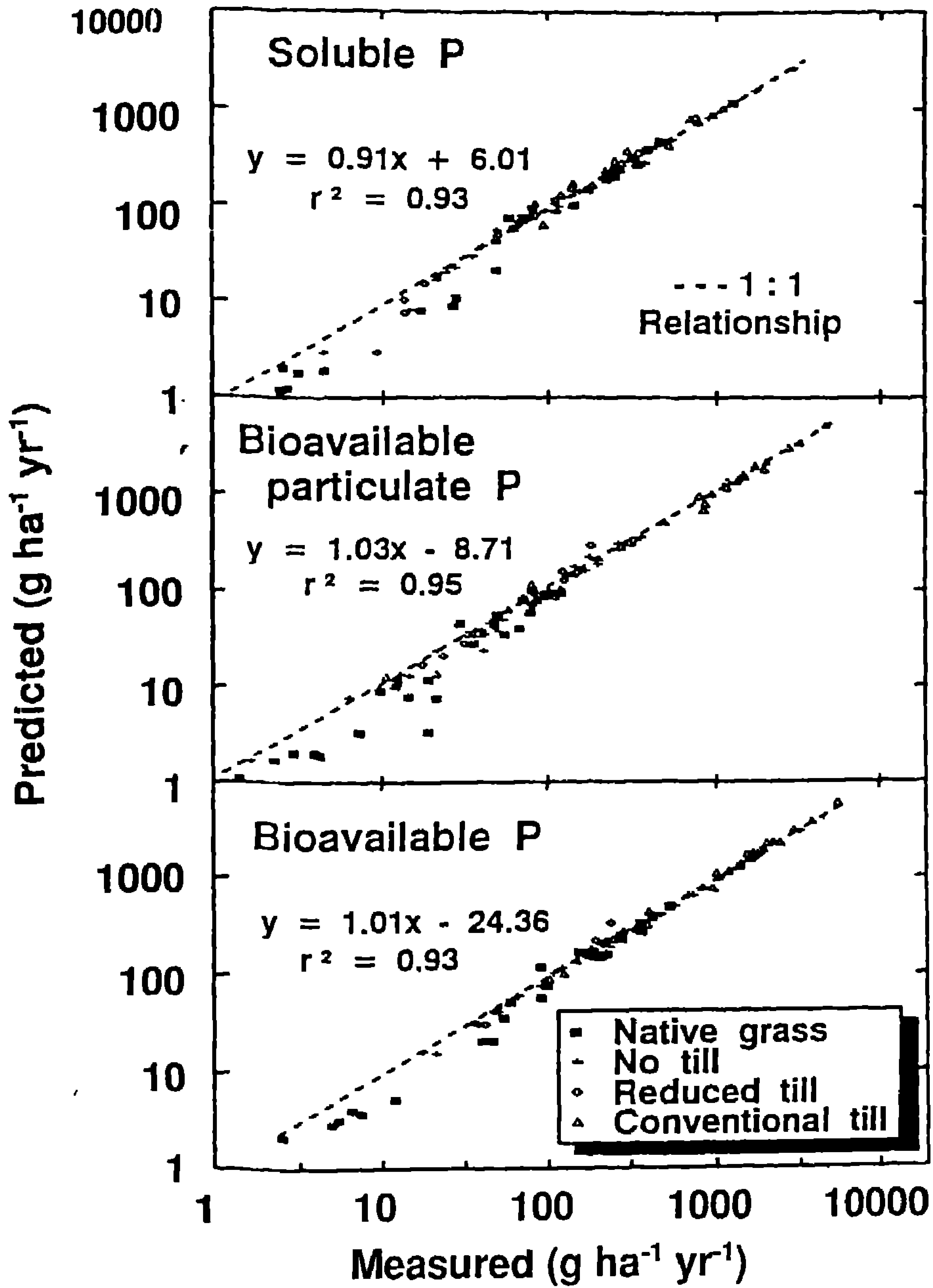
خواص التربة	نسبة الإغناء*
كربون عضوى	٢,٠٠
طين (٪)	١,٥٦
مساحة السطح	١,٣٢
P ميسر حيوياً	١,٤٩
P الكلى	١,٤٦
EPC (مجم / لتر)	– ١,٨٠ **

(Sharpley , 1985.)

(*) نسبة الإغناء = (قيمة خاصية التربة فى رواسب ماء المطر السارى) / (قيمة خاصية التربة فى التربة المصدر قبل سريان ماء المطر)

(**) توضح قيمة نسبة الإغناء السالبة أن التربة المصدر احتفظت بقيمة الفوسفور فى المحلول عند الاتزان أعلى من قيمته فى رواسب مياه الأمطار السارية.

رواسب القاع مرة أخرى فى حالة معلقة فى عمود المياه وتحفز انطلاق الفوسفور فى المناطق «الضوئية» حيث يحدث نمو للطحالب، كما يمكن أيضا لحالة أكسجين البحيرة أن تؤثر فى انطلاق الفوسفور من الرواسب. وأوضحت الدراسات، على سبيل المثال، أنه تحت الظروف اللاهوائية ينشط انطلاق الفوسفور، وأنه عندما تزداد مستويات الأكسجين فى البحيرة يزداد امتصاص الفوسفور أيضا. ويؤثر زمن البقاء للمياه فى البحيرة، أيضا وبدرجة كبيرة، على أهمية الفوسفور فى الرواسب. فعندما يكون زمن البقاء للماء المتدفق فى البحيرة طويلاً (على الأقل عدة شهور)، فإن مدخلات الفوسفور من الجداول والأنهار يصير لديها الوقت الكافى للتراكم فى هيئة رواسب على قيعان



شكل ٥ – ١٢ مقارنة بين فقد الفوسفور التى تمّ التنبؤ به والفوسفور الذى تم قياسه. تمّ التنبؤ بالفوسفور الذائب من: فقد التربة، واختبار التربة فى الفوسفور، وعوامل أخرى لها علاقة بمياه الأمطار السارية. وتمّ التنبؤ بالفوسفور الميسر حيوياً من: الفوسفور الكلى فى التربة أو الفوسفور الميسر حيويا، وتركيز الرواسب فى مياه الأمطار السارية، ونسب الإغناء المقدرة من فقد التربة.

(Sharpley and Halvorson, in Press.)

البحيرة. وإذا كان الماء المتدفق خلال البحيرة سريعًا فإن الفوسفور المحتجز بالحبيبات الدقيقة الصغيرة الحجم قد يُزال من البحيرة قبل أن يحدث له استقرار من عمود المياه. وبالفعل، فهناك استراتيجية واحدة شائعة فى المواقع الزراعية والحضرية لتقليل – إلى أدنى حد – عملية إغناء البحيرات وخزانات المياه بالعنصر الغذائى، وهى إنشاء برك ترسيب أو برك حجز تبقى فيها المياه مدة طويلة ؛ فتعمل كنظم ترشيح (فلترة) للفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة فى مياه الأمطار السارية. والأمر يتطلب بعد ذلك إزالة الرواسب التى أصبحت غنية بالعنصر أو عمل تغليف كيميائى محكم لها، وهذا يمكن تداركه ويمكن تصميمه للحصول على أعظم كفاءة.

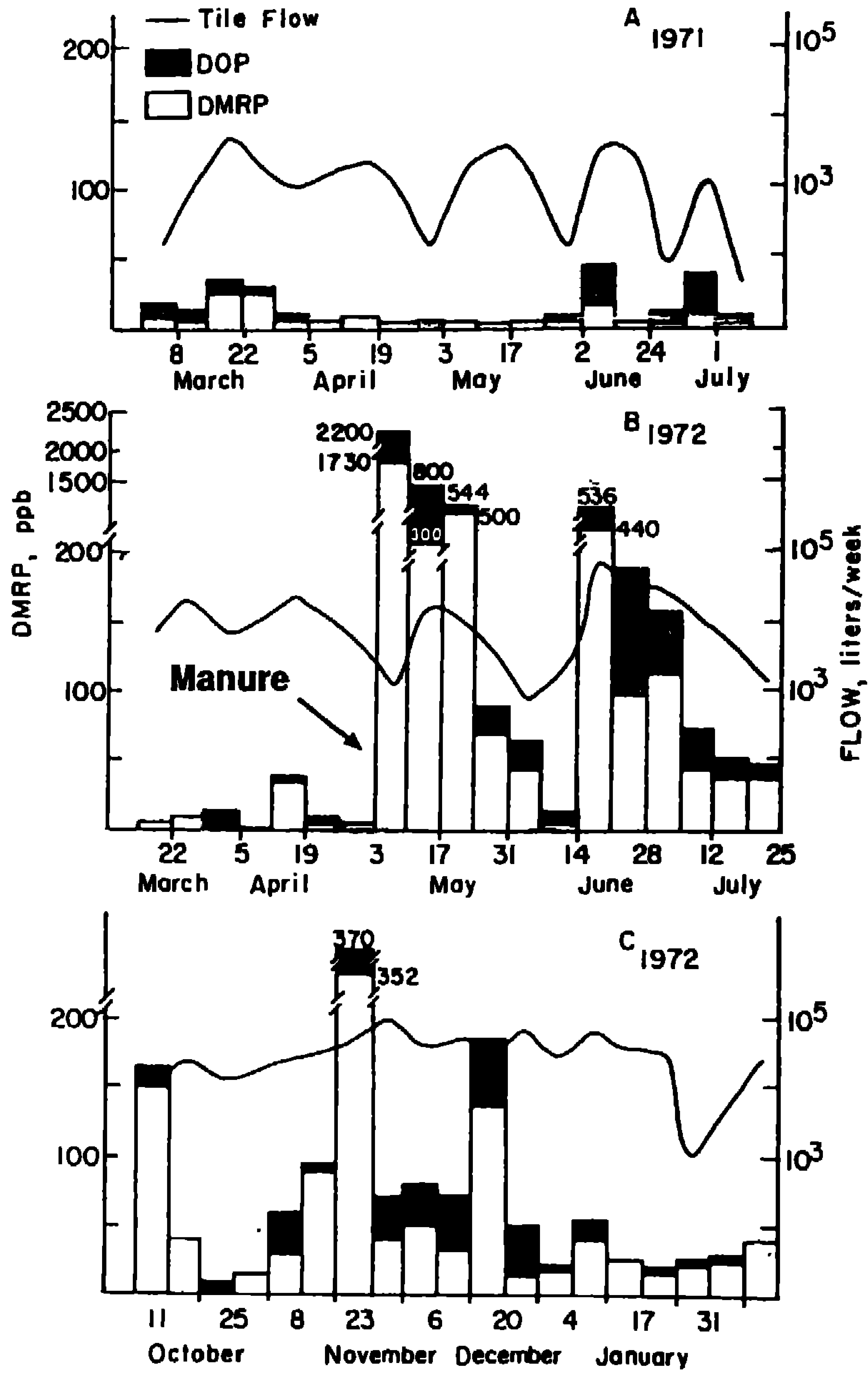
٥ – ٤ – ٢ غسيل الفوسفور وانسيابه تحت السطح :

إن العملية الطبيعية الخاصة بانسياب المياه الجوفية إلى المياه السطحية تسهم فى الفوسفور الذى يمكن أن يلعب دوراً فى عملية التشبع الغذائى. وفى معظم الحالات، فإن مدخل الفوسفور عن طريق الانسياب تحت السطح يمثل تأثير استخدام الأراضى لعشرات السنين، ويجب أن ينظر إليه كمساهمة أساسية للانسياب الذى يمكن أن يتغير فقط على المدى الطويل عن طريق التحسينات فى إدارة جميع العمليات الحضرية والزراعية فى مستجمع الأمطار. وهناك استثناء وحيد ممكن وهو الإنسياب تحت السطح من الحقول ذات الصرف الصناعى، حيث يمكن أخذ قياسات تصحيحية إما عند المصدر أوعند نقطة التفريغ. وتعتبر البرامج المحسنة لإدارة العنصر والأراضى الرطبة الصناعية أمثلة لاستراتيجيات يمكن أن تستخدم لتقلل حمولة العنصر فى مياه الصرف من المناطق الحضرية والزراعية.

وفى جميع الحالات، فقد وجد أن تركيز الفوسفور فى المياه المنسابة تحت السطح منخفض إلى حد كبير وتحت مستوى بداية عملية التشبع الغذائى بكثير. وهذا يعكس سعة الادمصاص الكبيرة للأراضى للفوسفور، وعلى الأخص آفاق تحت التربة الناقصة فى الفوسفور. وبسبب هذا، فإن غسيل الفوسفور مختلف عن غسيل النترات،

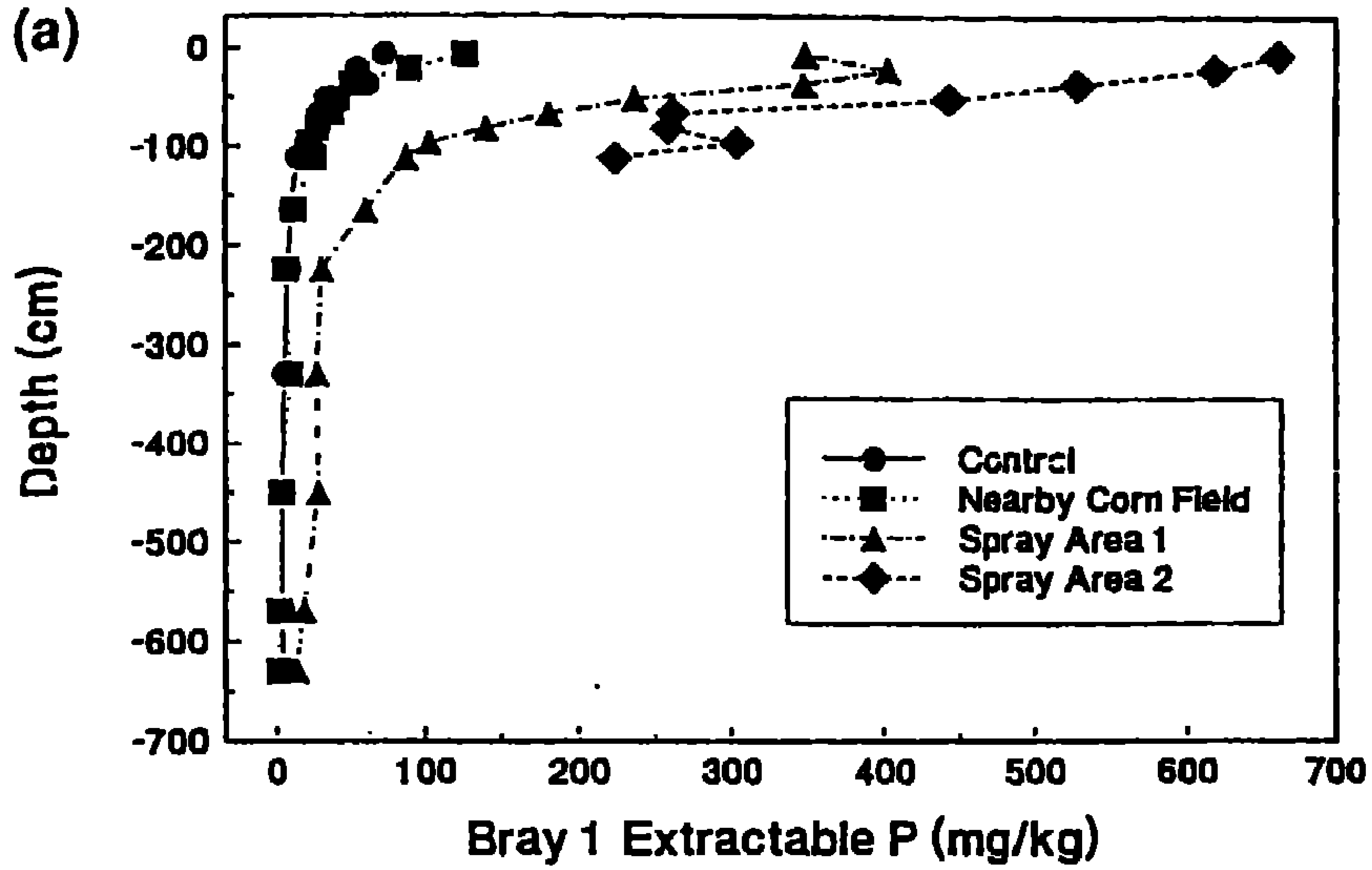
ونادراً مـاينظر إليه كـقضـيـة بيئـيـة مـهـمـة ، وتوجد استـثـنـاءات لذلك تشـمـل الأراضـى العضـوية التى يتذبذب فـيـهـا مسـتـوى الماء الأرضـى وتُسـمـد بكثافـة، والأراضـى الرملية ذات مسـتوى الماء الأرضـى الضـحل، كـمـا أن دور المادة العضـوية فى غـسـيل الفوسـفور (الذى ذكـر بعـاليـه) غـيـر مـفـهـوم تمـامـاً، ولكنه يعـتـقـد أنه عـامل جـوهرى. والصـرف الصناعى – الشائع استخدامه فى الأراضـى العضـوية – عادة يزيد رشح ونفاذية الماء، ويزيد احتمـال غسـيل الفوسفور، ولكنه يقلل فقد الفوسفور فى مياه الأمطار السـارية. ولو حدثت إضـافات كثيفة للأسمدة الحيوانية فى وجود صـرف صـنـاعى للأراضـى، فإن غسيل الفوسفور يمكن أن يكون معنويا (كمـا هو موضح فى شكل ٥ – ١٤) ؛ حيث إن إضـافـة ٢٠٠ طن/ هكتـار من سمـاد مـزارع إنتـاج اللبن أدت إلى زيادة كـبـيـرة حـادة لتركيز الفوسفور فى مياه الصرف المغطى. كما وجد أن تحسين التـهوية فى الأراضـى العضوية الراجع إلى الصرف الصناعى يحفز (يشجع) معدنة الفوسفور وفقده فى مياه الصرف عن طريق الغسيل.

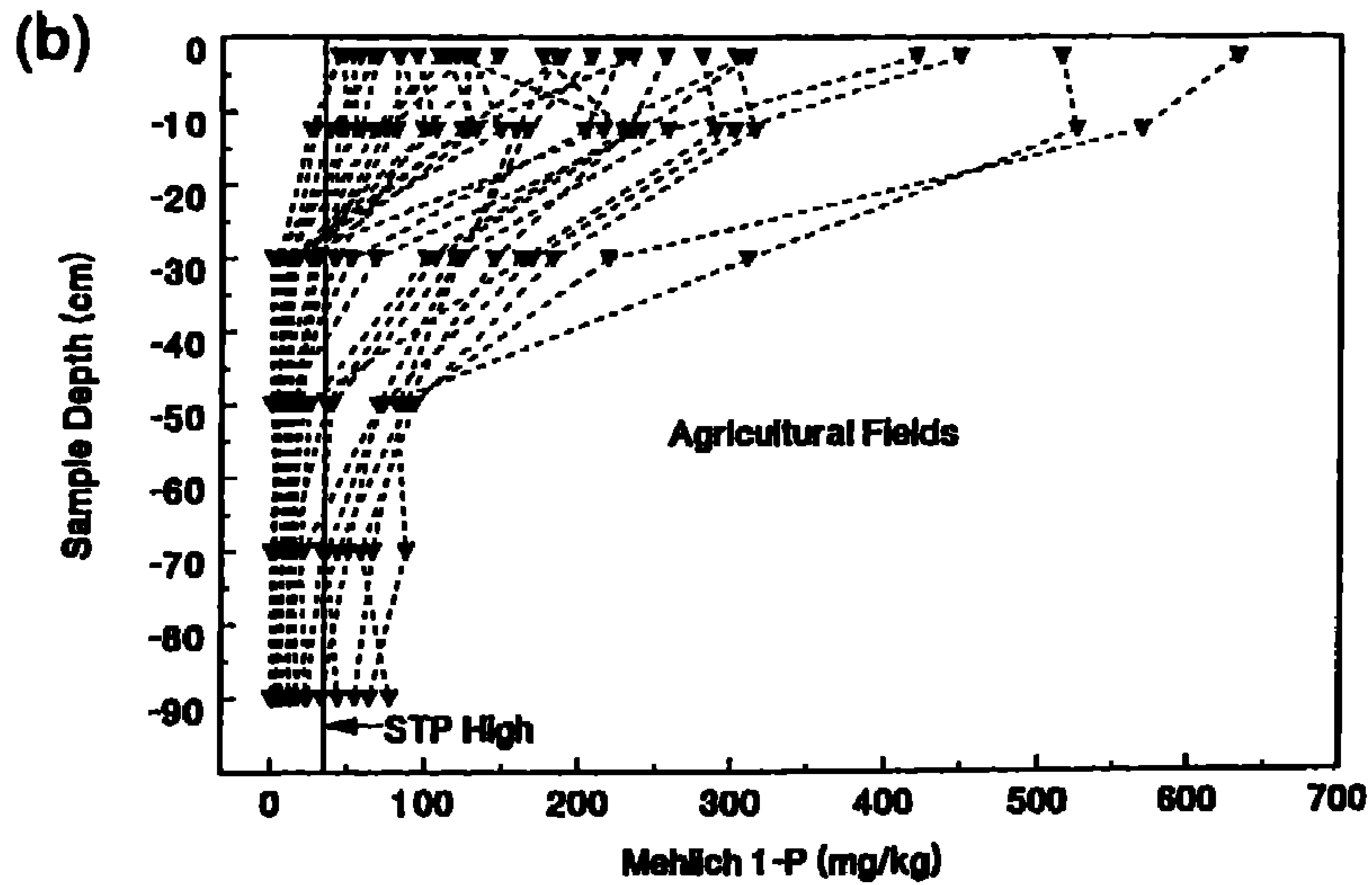
ولقد لوحظ أن مـعظم الحـالات الشـائعة التى يحـدث فـيـهـا غـسـيل للفوسـفور من الأراضـى المعدنية تقع فى نظم مـعـالجة مـيـاه الصـرف الصـحى والزراعى، وفى أراضـى رملية حيث يتم فيها التخلص من المخلفات الحيوانية؛ وهى ضرورية بسبب النقص فى الأراضى المناسبة لإدارة المخلفات إدارة سـليمة. والأمثـلة لهذا موضـحـة فى شكل (٥ – ١٥) للأراضـى الرمـيـلة التى تسـتـخـدم نظام الرى بمـيـاه الصـرف الصـحى للمحاصيل الزراعية فى منطقة تسود فـيـهـا صـنـاعة الدواجن بتـركـيـز كـبـيـر. وفى كلتا الحـالتين، فـإن حركـة الفـوسـفـور تحت التربة تحـدث بوضـوح. وفى حـالة الرى بمـيـاه الصرف الصـحى، كان متوسط الفوسفور فى المياه الجوفية فى مناطق مروية بنظام الرى بالرش حـوالى ٧٥ر٠ ملليـجـرام/لتـر، مـقـارنة بالمقـيـاس البـيـئى المحلى ٠٥ر٠ ملليجرام/ لتر.



شكل ٥ – ١٤ تأثير إضافة سماد حيوانات اللبن (٢٠٠ ميجا جم / هكتار) والانسياب المغطى (فى أنابيب فخارية) على فقد الفوسفور العضوى الذائب (DOP) أو الفوسفور المذاب (DMRP) فى الصرف المغطى خلال سنتين.

(Hergert et al. 1981.)





شكل ٥ – ١٥ دراسات غسيل الفوسفور موضحة توزيع الفوسفور المقدر فى التربة مع العمق (بطريقة Bray؛ ٠٣. ر٠ع NH4F + ٠٢٥. ر٠ع HCl؛ وبطريقة Mehlich 1 ؛ ٠٥. ر٠ع حمض هيدروكلوريك + ٠٢٥. ر٠ وحمض كبرتيك).

(a) مقارنة نظام الرى باستخدام مياه المجارى مع حقل قمح مسمّد بأسمدة تجارية.(b) من ٢٤ عينة تربة زراعية فى ديلاوير حيث تضاف الأسمدة الحيوانية بصفة منتظمة .

(Adriano et al., 1975 ,.and Mozaffari and Sims, 1993.)

٥ – ٥ الإدارة البيئية لفوسفور التربة :

إن برامج الإدارة التى تهدف إلى تقليل تدمير البيئة – إلى أدنى حد – بسبب فوسفور التربة يجب أن تستخدم أنظمة متعددة فى نفس الوقت لتحقيق غايتها. وبسبب أن ظاهرة التشبع الغذائى هى التأثير البيئى السلبى الوحيد للفوسفور، فإن استراتيجيات مقاومة التلوث بالفوسفور بسيطة فى فهمها؛ فيجب أن تظل مستويات فوسفور التربة عند مستويات كافية لنمو النبات ولكن ليست زائدة؛ ويجب أن ينخفض الفوسفور الذائب والفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة فى مياه الأمطار السارية – إلى أدنى حد – عن طريق الإدارة السليمة للتربة والمياه. وفى الأجسام المائية التى تحدث فيها عملية التشبع الغذائى، يشمل العلاج الممارسات التى تقلل ذوبان الفوسفور وانطلاقه فى جسم المياه. وحتى الآن، فلم تتطور بعد أساليب نظامية تقاوم فقد الفوسفور خلال عملية الانتقال، بالرغم من أن استخدام نظم صرف يسهل التحكم فيها وأراضى رطبة صناعية يعتبران تقدماً حديثًا فى هذا المجال.

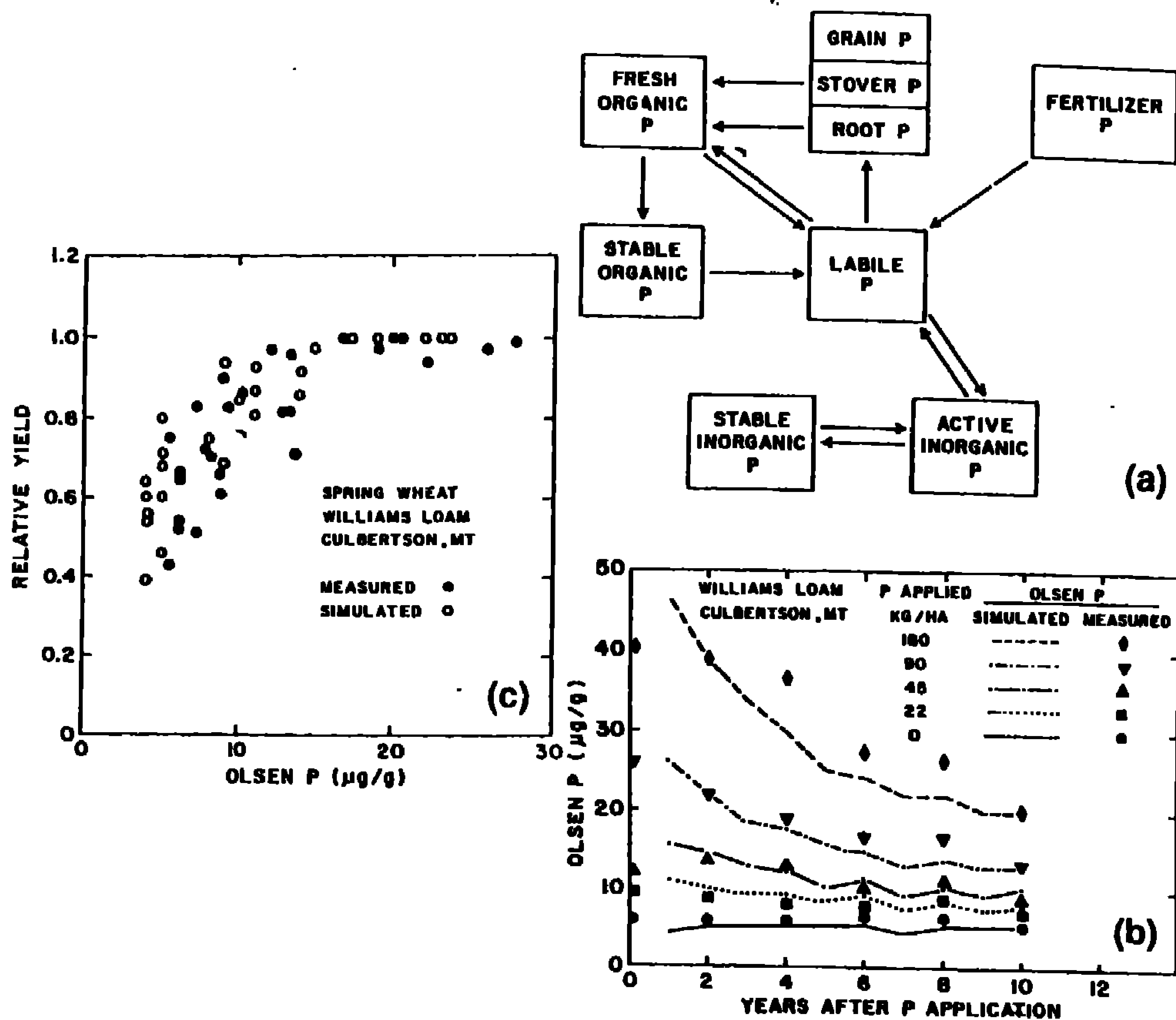
ومع ذلك، توجد عقبات كثيرة وكبيرة فى طريق تنفيذ هذه الممارسات «البسيطة». أولها وأهمها هو تيسر الموارد البشرية والاقتصادية اللازمة لتصميم وتنفيذ برامج الإدارة المحسنة لتقليل فقد التربة فى المناطق الحضرية والزراعية. وعقبة أخرى مهمة، وخصوصا فى المناطق الحضرية أو المناطق التى تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوان، هى تركيز الفوسفور المستمر من مناطق جغرافية أخرى فى المخلفات العضوية (أو غير العضوية). كما يؤدى ارتفاع تكاليف نقل المخلفات، ومعالجتها، وتكرار دفنها فى التربة إلى إضافة هذه المخلفات إلى الأراضى بطريقة ينتج عنها مستويات زائدة بيئيا لفوسفور التربة. وبالأخذ فى الاعتبار الطبيعة الصعبة لهذه العقبات فى إدارة فوسفور التربة، يصبح واضحًا أن الأمر يتطلب مفهوما نظامياً على المدى الطويل. ويحتاج الأمر إلى فِرق متعددة لهاخبرة فى البيئة المائية، والكيمياء، والهيدرولوجى، وعلوم الأراضى، وإنتاج المحاصيل، وإدارة المخلفات الصناعية والحضرية، واقتصاديات الموارد؛ ويجب عليهم تحديد المناطق التى تحتاج انتباهاً فورياً، وتحديد الحلول التى تطبق على مستوى كبير وعلى مدى طويل. ويجب أن يتم

تنسيق الاستراتيجيات اللازمة للحالات الحضرية والزراعية، رغم اختلافهما بحيث تحقق الاستقلال الداخلى للمزرعة ولسكان المحليات. وقد تطورت النماذج الرياضية المعتمدة على الكمبيوتر والخاصة بجودة المياه وهى تركز على إدارة الفوسفور، مثل نموذج EPIC (انجراف - إنتاجية - تأثير - حاسب). وهذه النماذج تتطلب قاعدة بيانات كبيرة بعوامل كثيرة، ولكنها تنجح بدرجة كبيرة فى التنبؤ بالتغيرات فى مستويات فوسفور التربة أو استجابة المحصول (شكل ٥ - ١٦).

وهناك مفاهيم أخرى أكثر بساطة يمكن استخدامها عن طريق الوكالات الاستشارية (الإرشاد التعاونى، وخدمات صيانة الأراضى) أو المستشارين الزراعيين؛ وهى أيضا تحت التطوير. ولعل أحد الأمثلة لهذه المفاهيم هو الحقل الإرشادى للتنبؤ بالتأثير البيئى المحتمل لفوسفور التربة؛ ويعرف بنظام دليل الفوسفور (شكل ٥ - ١٧)، وهو يستخدم ثمان خواص للموقع يمكن الحصول عليها بسهولة للحصول على دليل للحكم على قابلية الموقع لفقد الفوسفور. ومزايا هذه البرامج سواءً كانت بسيطة أو معقدة هى أنها تقلل - إلى أدنى حد - تراكم الفوسفور إلى مستويات زائدة، وتوجه إدارة التربة والمياه نحو تقليل سريان مياه الأمطار وتقليل انجراف التربة.

٥ - ٥ - ١ إدارة فوسفور التربة: اختبار التربة وميزانية العنصر الغذائى:

تشمل العمليات الزراعية إنتاج المحاصيل الزراعية، والإنتاج الحيوانى، والخضروات والمحاصيل الخاصة، والعمليات البستانية التجارية (مثل الصوب، والمشاتل، ومزارع الأعشاب). ومن الضرورى أن تكون خصوبة الفوسفور كافية من أجل إنتاج محصول أعظم فى جميع هذه العمليات، ولكن فى كثير من هذه الحالات أدت الإدارة السيئة للعنصر الغذائى إلى استخدام مكثف لأسمدة الفوسفور المعدنية أو الأسمدة الحيوانية، مع فواقد ناتجة فى هيئة فوسفور ذائب أو رواسب غنية بالفوسفور. وتتطلب إدارة الفوسفور للأغراض الزراعية تطوير وتنفيذ برنامج إدارة للعنصر الغذائى يركز ليس فقط على الربحية، ولكن أيضا على تقليل - إلى أدنى حد - التأثيرات البيئية للفوسفور. وتشمل الجوانب الرئيسية لهذا البرنامج التقدير الواقعى



شكل ٥ – ١٦(a) المكونات الرئيسية لتدوير الفوسفور فى الأراضى،(b) التغيرات التى يمكن التنبؤ بها فى اختبار الفوسفور فى التربة مع الزمن، ومع (C) استجابة المحصول لاختبار الفوسفور فى التربة. (Jones et al . 1984).

قابلية الموقع	دليل الفوسفور للموقع (مجموع القيم الوزنية)
منخفض	٨ >
متوسط	٨ – ١٤
مرتفع	١٥ – ٣٢
مرتفع جدا	٣٢ <

شكل ٥ – ١٧ كشاف مقترح للفوسفور يستخدم لتقويم المواقع فيما يخص قدرتها على إرسال (إطلاق) فوسفور إلى أجسام المياه الحساسة.

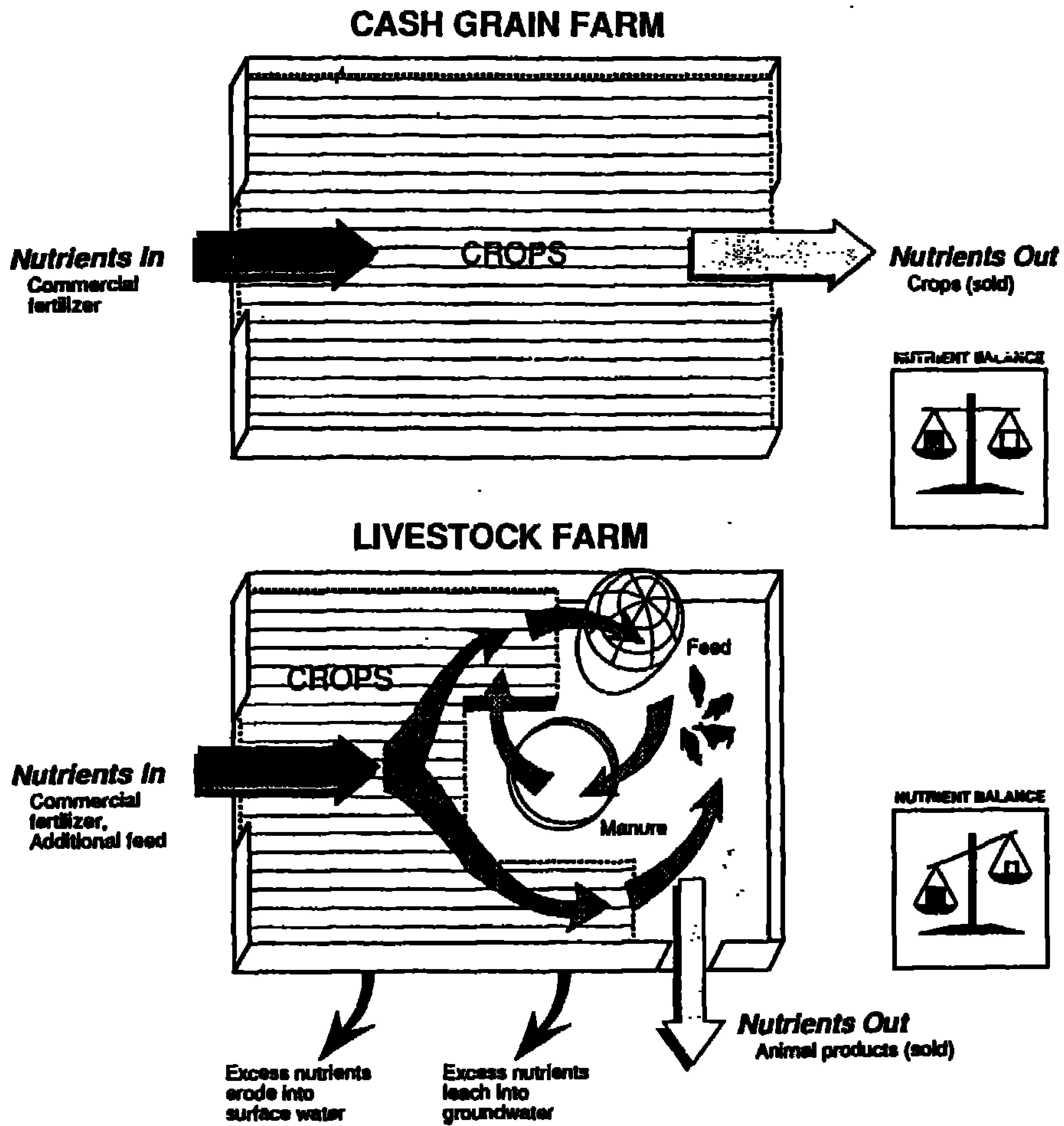
خواص الموقع (القيم الوزنية)	تقويم فقد الفوسفور				
	لا يوجد (صفر)	منخفض (١)	متوسط (٢)	مرتفع (٤)	مرتفع جدا (٨)
إزالة التربة (١,٥)	لاشئ	١١> Mt / ha	١١–٢٢ Mt / ha	٢٣ – ٢٤ Mt / ha	٣٤ < Mt / ha
ازالة ماء الرى (١,٥)	لاشئ	٦ > للأراضى السهلة الانجراف ١٠ > للأراضى الأخرى	١٠ < للأراضى المقاومة للانجراف	٦ < للأراضى القابلة للانجراف	٦ < للأراضى السهلة الانجراف
سريان مياه الأمطار	لا شئ	منخفض جدا أو منخفض	متوسط	مرتفع	مرتفع جدا
P التربة(١,٠)	لا شئ	منخفض	متوسط	مرتفع	زائد
معدل السماد التجارى كجم P / هكتار (٠,٧٥)	لا شئ	15 >	١٦ – ٤٣	٤٤ – ٧٣	٧٣ <
طريقة إضافة السماد الفوسفورى (٠,٥)	لا شئ	يوضع باستخدام البذارة لعمق أكثر من ٥ سم	يدمج مع التربة قبل الزراعة مباشرة	يدمج أو يضاف على السطح ٣< شهور قبل الزراعة	يضاف على السطح ٣< شهور قبل الزراعة
معدل إضافة المصدر العضوى (كجم P/ هكتار) (٠ ر١)	لا شئ	١٥ >	١٦ – ٣٠	٣١ – ٤٣	٤٣ <
طريقة إضافة مصدر P العضوى (٠ ر١)	لا شئ	بالحقن لعمق أكبر من ٥ سم	يدمج قبل الزراعة مباشرة	يدمج، > ٣ شهور قبل الزراعة. أو يضاف على السطح < ٣ شهور قبل الزراعة	يضاف على السطح إلى المراعى أو ٣< شهور قبل الزراعة

تابع شكل ٥ – ١٧

لاحتياجات النبات من الفوسفور، وبرامج اختبارات التربة وتحليل النبات التى تراقب مستويات فوسفور التربة، والممارسات الكفء للتسميد بالفوسفور وفى الوقت المناسب، وعمليات الحرث التى تقلل فقد التربة، والمفاهيم الحديثة الجديدة لإدارة المخلفات العضوية.

وبالرغم أن الفوسفور عنصر غذائى ضرورى له وظائف بيوكيميائية مهمة عديدة، فإن الكمية التى يحتاجها النبات أقل بكثير جدا عن العناصر الغذائية الكبرى الأخرى (النتروجين ، البوتاسيوم). وتتراوح التركيزات النموذجية للفوسفور فى المحاصيل من ١ر٠ إلى ٥ ر٠٪، وتتروواح عادة التوصيات السمادية بالفوسفور من ١٠ إلى ١٠٠كجم فوسفور للهكتار. ومع ذلك، فإن الفوسفور المضاف من الأسمدة الحيوانية يختلف عن الفوسفور المزال من الحقل فى المحصول، كما هو موضح فى شكل ٥ – ٨. على أن طبيعة الدورة الزراعية التى تتضمن المحصول وعملية الفلاحة بأكملها سوف تُحدِّد فى النهاية «ميزانية» العنصر الغذائى فى التربة على المدى الطويل. وعلى سبيل المثال، كثير من الأسمدة المعدنية للفوسفور الممتصة بواسطة محاصيل الحبوب الزراعية تعود إلى التربة فى صورة مخلفات محاصيل، بينما تزيل محاصيل العلف أو السيلاج من الحقل فوسفوراً أكثر. وبالمثل، هناك سيناريو مضاد مدون فى شكل ٥ – ١٨ يوضح الاختلافات فى تعقيد إدارة الفوسفور لمزرعة محصول نقدى مقارنة بمزرعة إنتاج حيوانى.

ويجب أيضاً أن نراقب ميزانية العنصر على مستوى الدولة أو الإقليم، خصوصا فى المناطق التى تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوانات أو الأقاليم المتحضرة بدرجة كبيرة حيث تعتبر إضافة مخلفات المحليات العضوية ممارسة مقبولة. وتوجد مشاكل صعبة هائلة فى مناطق معينة، سواء على مستوى المزرعة أو الدولة كما هو موضح فى جدول ٥ – ٦ لمنطقة ديلاوير، وهى منطقة بها أكبر صناعة مركزة لإنتاج الدواجن فى الولايات المتحدة.



شكل ٥ – ١٨ مقارنة اتزان العنصر الغذائى فى مزرعة تعتمد على زراعة محاصيل نقدية وفى مزرعة أخرى تعتمد على الإنتاج الحيوانى . والشكل يوضح الطبيعة المعقدة جدا لدورة العنصر الغذائى فى عملية الإنتاج الحيوانى .

(Weidner , 1988.)

ولقد استخدمت اختبارات التربة وتحليل النبات بطريقة تقليدية لتحديد نقص الفوسفور واحتمال استجابة المحصول للتسميد بالفوسفور. وفى مناطق كثيرة من الولايات المتحدة (كما هو موضح فى شكل ٥ – ١٩)، يشيع نقص الفوسفور. وتلعب اختبارات التربة دوراً حيوياً فى ضمان الحصول على محصول أعظم اقتصادياً . ومع ذلك، فى مناطق أخرى، فإن الاستخدام الروتينى لأسمدة الفوسفور المعدنية والمخلفات العضوية أدى إلى تراكم مستويات فوسفور مرتفعة فى التربة لدرجة أنها تحتاج إلى سنوات قبل أن تحدث استجابة اقتصادية للتسميد بالفوسفور (مع الاستثناء الممكن للفوسفور فى السماد البادئ). ومثال لطول هذه الفترة اللازمة للأراضى المرتفعة فى الفوسفور (موضح فى شكل ٥ – ٢٠)، حيث تحتاج إلى حوالى ١٥ سنة لينخفض اختبار التربة فى الفوسفور من حوالى ١٠٠ ملليجرام فوسفور لكل كيلو جرام إلى المستوى المحدد للمحصول (حوالى ٢٠ – ٢٥مجم P / كجم). ويتم دراسة اختبارات التربة الجديدة بالنسبة لهذه المناطق التى أصبحت غنية فى الفوسفور، وذلك لتحديد القدرة الإمدادية لهذه الأراضى بالفوسفور على المدى الطويل، ومعرفة الحاجة إلى استراتيجيات مكثفة لإدارة الأراضى، وذلك بسبب المستويات العالية للفوسفور الميسر حيويا والموجود فى هذه الأراضى. وعلى سبيل المثال، حتى وقت قريب، لم تستطع كثير من معامل اختبارات الأراضى – بسبب قصور فى الأجهزة أو الصعوبات الاقتصادية – قياس التركيز الفعلى للفوسفور فى الأراضى حتى عندما كان تركيزه مرتفعاً فى الأراضى التى فيها استجابة المحصول كانت غير محتملة. وإن ظهور الاعتبارات البيئية فيما يتعلق بفوسفور التربة، واستخدام الأجهزة الحديثة جعلت القياسات الروتينية للفوسفور الفعلى فى التربة ممكنة، وفى جميع الحالات أمكنها تحديد العمليات الزراعية التى تؤدى إلى مستويات زائدة بكثير عن كمية الفوسفور اللازمة للنمو العادى للنبات. وكمثال على ذلك هو الحصر المعمول على ٧٠ مزرعة فى جنوب شرق بنسلفانيا، وهى منطقة تسود فيها الزراعة المعتمدة على الحيوان، والذى أوضح أن أرقام اختبارات التربة بطريقة Bray P1 تراوحت من ٣٦ إلى ٤١١ مجم P / كجم بمتوسط ١٣٠ مجم P/ كجم، وكان الحد الحرج لمستخلص Bray P1 ٣٠ مجم P / كجم. وهناك طرق

جدول ٥ – ٦ ميزانية الفوسفور – على مستوى الولاية وعلى مستوى المزرعة – فى الزراعة المعتمدة على الإنتاج الحيوانى فى ديلاوير.

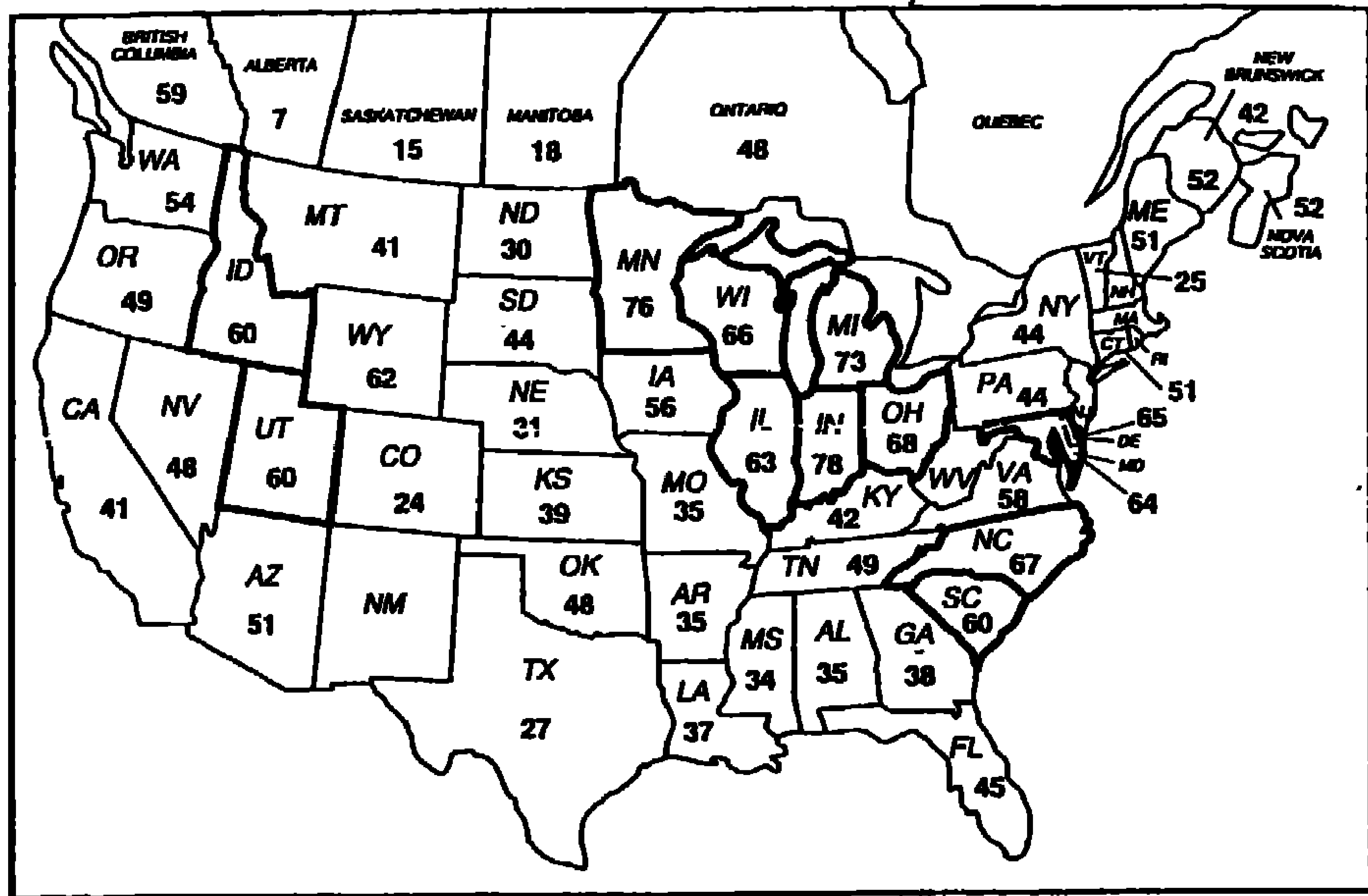
المحصول	هكتار	احتياجات P السنوية*	مصدر P	كمية P الميسر فى السنة
ميزانية الفوسفور على مستوى الولاية (كجم)				
الذرة	٦٩٦٠٠	٩٣٧٠٠٠	سماد الدواجن	٣٥٠٠٠٠٠
فول الصويا	٨٠٦٠٠	١٠٨٤٠٠٠	أسمدة تجارية	٣٠٠٠٠٠٠
القمح	٢٤٣٠٠	٣٣٠٠٠٠	مخلفات أخرى	غير موثقة
الشعير	١١٠٠٠	١٤٧٠٠٠		
وغيرها	٣٢٤٠٠	٤٣٦٠٠٠		
المجموع	٢١٧٩٠٠	٢٩٣٤٠٠٠	المجموع	٦٥٠٠٠٠٠

∴ ميزانية الفوسفور على مستوى الولاية : زيادة قدرها ٣٥٦٦٠٠٠ كجم للولاية فى السنة.

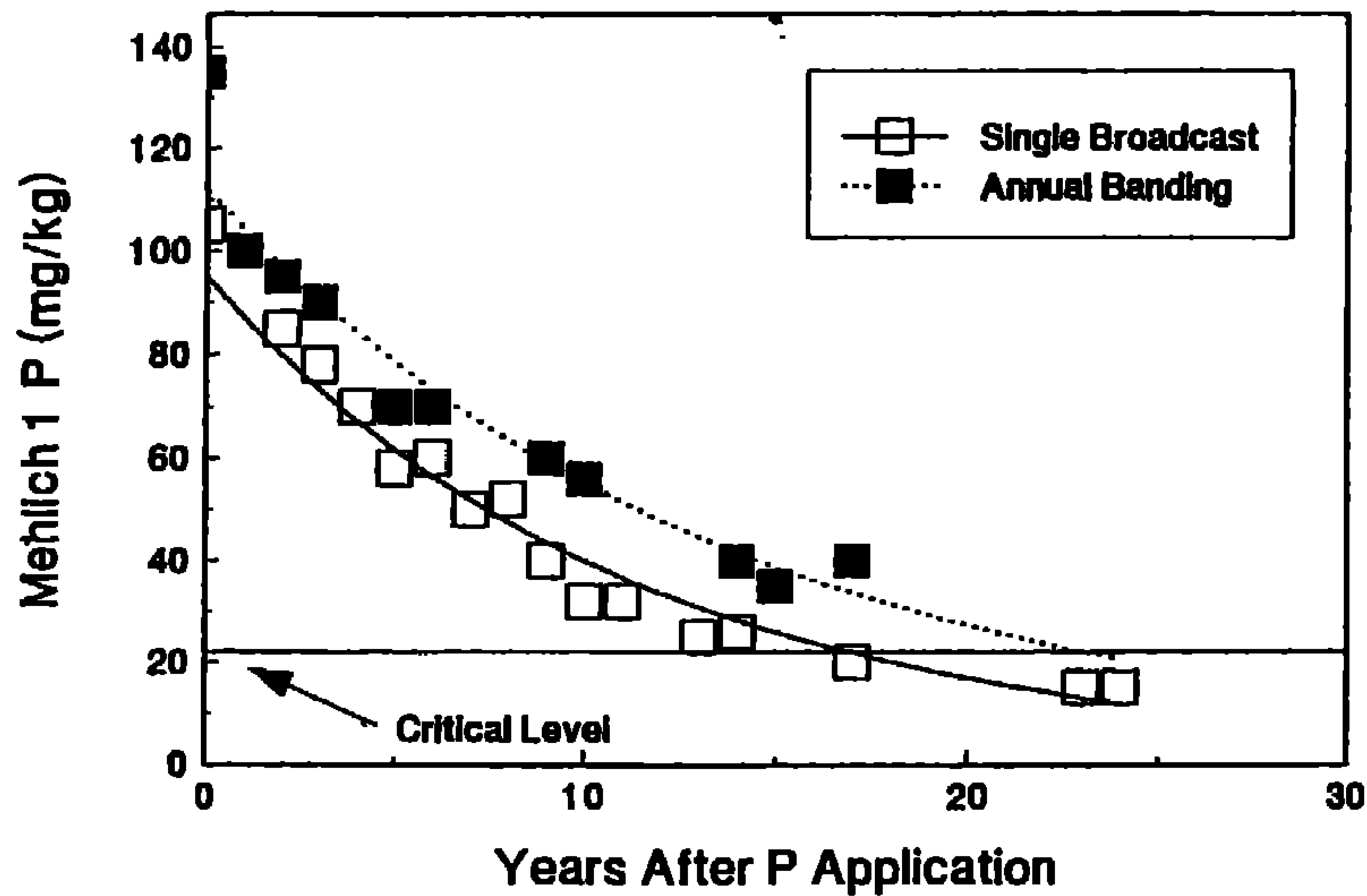
العنصر الغذائى	المطلوب للمزرعة	الميسر من السماد الحيوانى	الزيادة المحتملة
ميزانية الفوسفور على مستوى الولاية المزرعة (كجم)			
نتروجين	٤٢٠٠٠	٢٣٨٠٠	لا توجد زيادة
فوسفور	١٤٥٠٠	٢١٩٠٠	+ ٧٤٠٠
بوتاسيوم	١٧٠٠٠	١٩٠٠٠	+ ٢٠٠٠

ملاحظة:افتراضات: مساحة المحاصيل = ٤١٠ هكتار (الذرة، فول الصويا، الخضروات)؛ اختبارات الأراضى: ٦٠٪ من الحقول مرتفع فى الفوسفور والبوتاسيوم؛ كمية السماد الحيوانى ١٤٩٠٠٠ وسماد الدواجن = ٩٥٠ ميجاجم/ السنة؛ تحليلات السماد الحيوانى ٢ر٥٪N، ٢ر٣٪ P_2O_5، ٢ر٠٪ K_2O؛ معدل إضافة السماد الحيوانى يعتمد على احتياج المحصول من النتروجين.

* اعتماداً على التوصيات السمادية الحالية وملخص اختبارات الأراضى التى توضح أن ٦٥٪ من الأراضى الزراعية مرتفعة جدا فى الفوسفور.



شكل ٥ – ١٩ ملخص اختبارات التربة بالنسبة للفوسفور فى الولايات المتحدة الأمريكية ، عام ١٩٨٩ . الأرقام فى كل ولاية عبارة عن نسبة عينات الأراضى المختبرة المرتفعة أو الزائدة فى الفوسفور. الولايات المحددة بخطوط أكثر وضوحاً بها ٦٠ ٪ أو أكثر من عينات الأراضى مرتفعة فى الفوسفور أو زائدة. (PPI ,1989.)



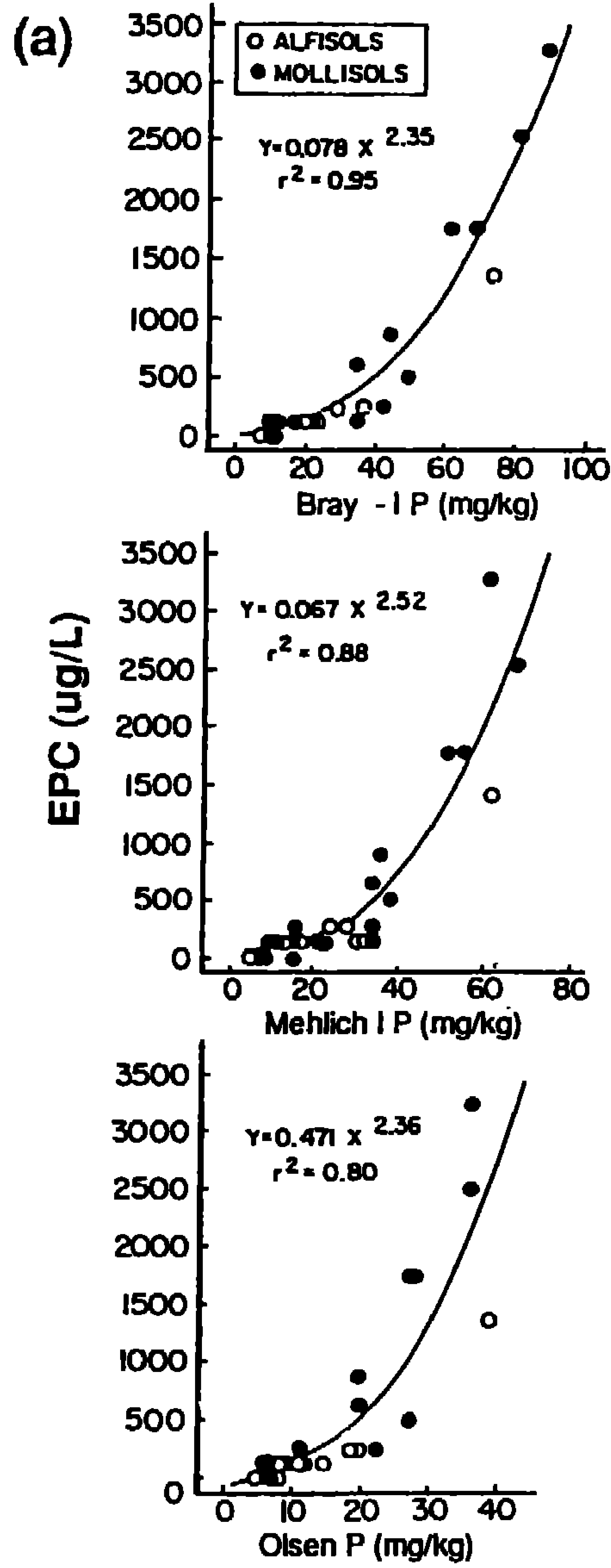
شكل ٥ – ٢٠ النقص فى الفوسفور المستخلص بطريقة Mehlich فى أرض مزروعة بدورة زراعية من الذرة وفول الصويا لمدة ٢٦ سنة . ولقد تم تأسيس مستويات فوسفور التربة الابتدائية (T= صفر سنة) عن طريق إضافة الفوسفور نثرا دفعة واحدة بمعدل ٣٢٤ كجم/ هكتار أو عن طريق إضافته على خطوط ثمان دفعات كل واحدة منها بمعدل ٦٠ كجم P لكل هكتار. (McCollum , 1991.)

أخرى للمتابعة تحت التقويم تشمل استخدام اختبارات التربة الروتينة لتقدير كمية الفوسفور «الميسرحيويا» أو «الميسر للطحلب» (شكل ٥ – ٢١)، وتقدير الفوسفور الميسر كميا تحت التربة لمعرفة عما إذا كان حدث غسيل للفوسفور أو لا، واختبارات سريعة تُحدِّد سعة ادمصاص الأراضي للفوسفور المضاف. والكثير من هذه الاختبارات لا يتم العمل بها روتينيا، ولكنها جزء من طريقة اختبار مكثفة جداً تستخدم عندما تقوم الاختبارات الروتينية بتحديد المناطق التى بها مستويات زائدة من فوسفور التربة، وتحتاج بدرجة كبيرة إلى المزيد من الفحوصات الإضافية.

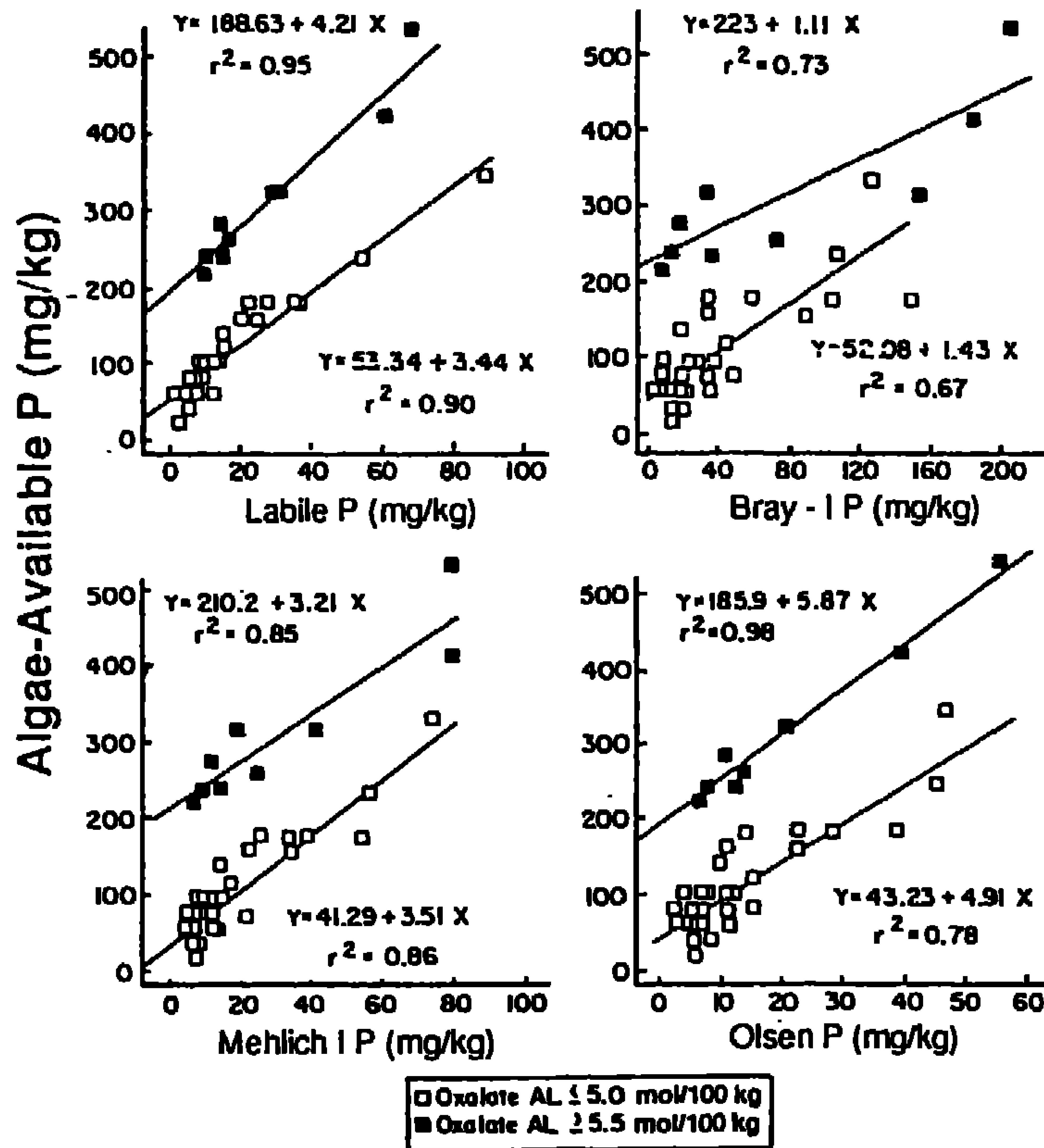
٥ – ٥ – ٢ إدارة فوسفور التربة : التسميد وممارسات الصيانة:

بمجرد أن يتم تحديد الحاجة أو عدم الحاجة إلى فوسفور إضافى، فإن خطوة الإدارة التالية هى اختيار مصدر الفوسفور الأكثر كفاءة، وكذلك تقنية الإضافة. ومن وجهة النظر البيئية، فإن مصدر الفوسفور المستخدم عامة له تأثير بسيط على فقد الفوسفور عن طريق مياه الأمطار السارية أو الغسيل. وبالرغم من ذلك، فإن تقنيات الإضافة وممارسات الحرث يمكن أن تؤثر بدرجة كبيرة فى كفاءة امتصاص الفوسفور بواسطة المحصول واحتمال فقد الفوسفور فى عملية الانجراف ومياه الأمطار السارية.

وبصفة عامة، فإن أفضل الوسائل كفاءة لتلاشى فقد الفوسفور هى دمج الأسمدة المعدنية والعضوية مع التربة، حيث أن تفاعلات الادمصاص والترسيب سوف تقلل ذوبان الفوسفور وتفاعله مع مياه الأمطار السارية. وتعتبر تقنيات وضع السماد مثل السرسبة فى خطوط تحت السطح بالقرب من البذرة أو البادرة طرقًا متفوقة بصفة عامة عن الإضافة بطريقة النثر؛ حيث إنها تقلل المسافة اللازمة لانتشار الفوسفور إلى جذور النبات، كما تقلل أيضًا درجة تلامس الفوسفور السمادى مع حبيبات التربة، كما أن معظم تقنيات دمج كميات كبيرة من أسمدة الفوسفور والمخلفات العضوية تتطلب حرث التربة (الحرث باستخدام المحراث القلاب المطرحى، والمحراث القلاب القرصى)، والذى فى الغالب يؤدى إلى فقد التربة وفقد الفوسفور عن طريق



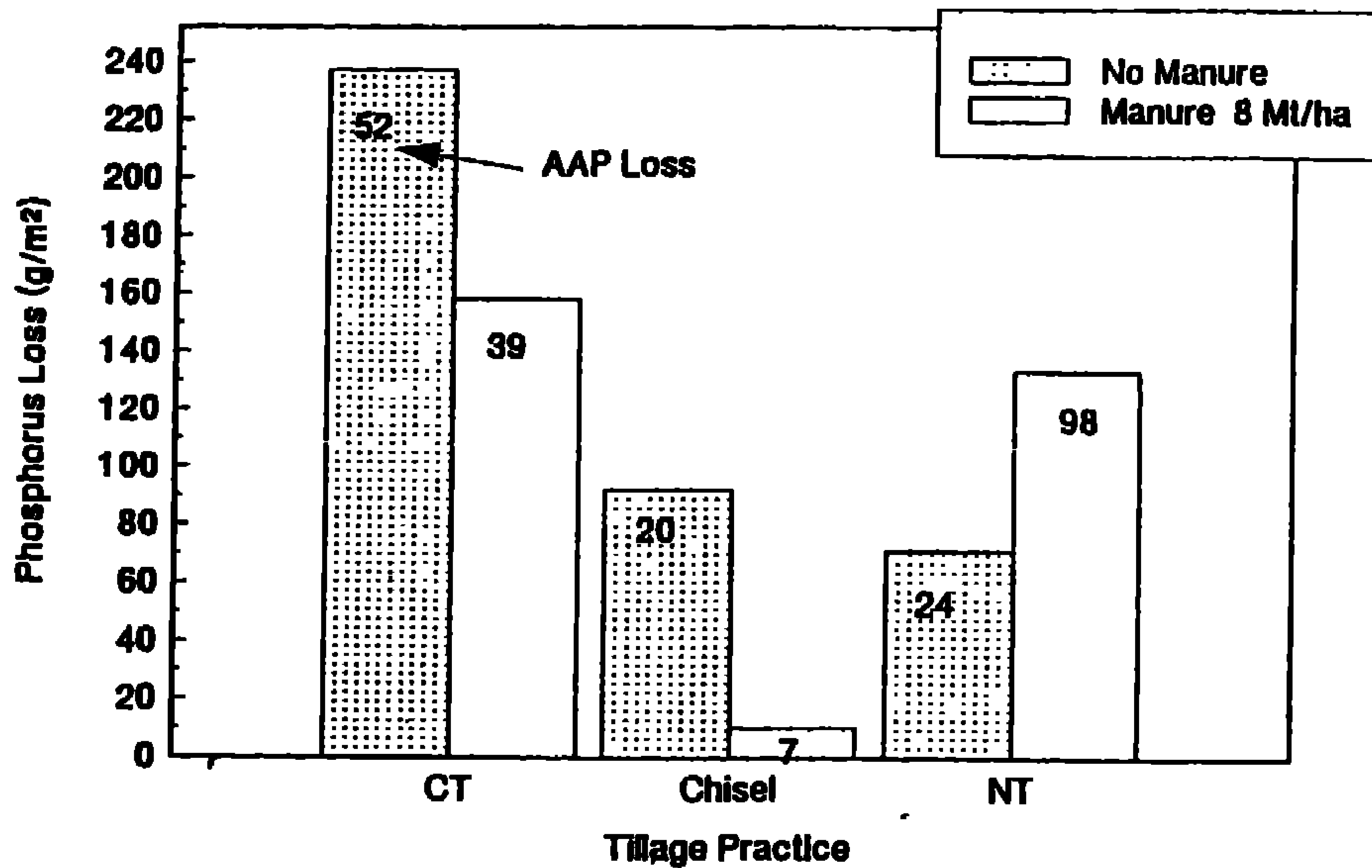
شكل ٥ – ٢١ أمثلة لاستخدام اختبارات الأراضي الروتينية (Olsen P, Mehlich - 1 P, Bray - 1 P) للتنبؤ بدلائل مفيدة في تقويم التأثير البيئي لفوسفور التربة: (a) EPCo, (b) الفوسفور الميسر حيويا للطحلب. (Wolf et al ., 1985.)



تابع شكل ٥ – ٢١

الانجراف. وفى السنوات الحديثة تمت دراسة تأثير تنوع ممارسات الحرث لصيانة التربة (بدون حرث، أقل حرث ممكن، حرث باستخدام المحراث الحفار) على فقد الفوسفور من الأسمدة المعدنية والعضوية. وطبقًا لماهو موضح فى جدول ٥ – ٤، فإن وجود بقايا المحاصيل على سطح التربة فى نظم الحرث للصيانة يمكن أن يقلل فقد الفوسفور بدرجة واضحة، كما يمكن للممارسات الأخرى لمقاومة الانجراف، مثل: الحرث الكنتورى، الزراعة على مصاطب، الشرائح الحاجزة، زراعة ضفاف المجارى

المائية أن تقلل أيضا الانجراف، وسريان مياه الأمطار، ومن ثَمّ فقد الفوسفور. ومع ذلك، ففى الحالات الكثيرة التى يستخدم فيها الحرث لغرض الصيانة، إذا لم يُضف السماد المعدنى سرسبة فى خطوط أو إذا لم يحقن السماد الحيوانى فى التربة، توضع مصادر الفوسفور هذه مباشرة على سطح التربة بدون دمج. وفى بعض الحالات، بناء على ذلك، فإن عملية الحرث – الحرث للصيانة – التى تُصمم لمقاومة مسألة واحدة بيئية (انجراف التربة، فقد الفوسفور المرتبط بالرواسب) قد تخلق مشكلة أخرى (فقد الفوسفور الذائب) عندما تصبح مستويات الفوسفور فى السنتيمترات القليلة العلوية من سطح التربة زائدة بسبب التسميد المعدنى أو العضوى الزائد على المدى الطويل، كما أن برامج إدارة العنصر الغذائى التى تحفظ فوسفور التربة عند مستويات معقولة، أو تقلل ممارسات الحرث التى تدمج جزئيًا الأسمدة المعدنية والعضوية (مثل الحرث



شكل ٥ – ٢٢ تأثير ممارسات الحراثة واستخدام السماد الحيوانى على فقد الفوسفور الكلى والفوسفور الميسر حيويا للطحلب (AAP = الأرقام فى داخل الأعمدة) فى مياه الأمطار السارية من حقول الذرة (CT = حرث تقليدى ، Chisel = حرث باستخدام المحراث الحفار ، NT = بدون حرث).
(Mueller , et al ., 1984.)

باستخدام المحراث الحفار، شكل ٥ - ٢٢) يمكن أن تساعد فى تحاشى مشكلة فقد الفوسفور الذائب الزائد من الأراضى فى مياه الأمطار السارية.

وتُعتبر ممارسات الحرث لغرض الصيانة صعبة للغاية، وبصفة خاصة لكى تلائم إضافة المخلفات الحيوانية حيث لا يتوافر الجهاز اللازم لدمج المخلفات بدون حرث. وإن إضافة المخلفات الحيوانية فى صورة صلبة أو سائلة مباشرة إلى سطح الأراضى غير المحروثة ينتج ليس فقط طبقة من الفوسفور فى الأفق العلوى للتربة بها مستويات عالية جداً من الفوسفور موجودة فى الثلاثة سنتيمترات العلوية المعرضة للانجراف، ولكن أيضا يترك على السطح مادة عضوية أصبحت غنية بالفوسفور، وقابلة للانجراف بدرجة عالية. ومما يُعقّد الأمر أكثر من ذلك تلك الحقيقة التى تعنى أن الأسمدة الحيوانية (والأسمدة المعدنية للفوسفور) يشيع إضافتها بعد موسم النمو، عندما يجد المزارعون وقتًا ميسراً أكثر أو عندما تصبح الأرض المجمدة أكثر سهولة لحركة الآلات خلال الحقول. كما أن الإضافات السطحية لمصادر الفوسفور العضوية وغير العضوية فى الخريف، والشتاء، وأوائل الربيع تشجع احتمال فقد الفوسفور خلال الربيع عندما تسقط الأمطار وينوب الجليد ؛ حيث تحدث أعلى نسبة لسقوط المطر السنوى. وتحدث حالات مماثلة فى الأراضى الزراعية والحضرية التى نادراً ما تُحرث مثل المراعى والمناطق المكسوة بالأعشاب. وفى هذه الحالات، حيث يكون فقد الفوسفور المرتبط بحبيبات التربة الدقيقة منخفضاً، فإن أحسن إستراتيجية يمكن أن تستخدم هى تلافى الإضافات غير الضرورية للفوسفور التى يمكن أن ينتج عنها فقد مرتفع للفوسفور الذائب.

المراجع :

Adriano, D. C., Novak, L. T., Erickson, A. E., Wolcott, A. R., and Ellis, B. G., Effect of long term land disposal by spray irrigation of food processing wastes on some chemical properties of the soil and subsurface water, J. Environ. Qual., 4, 242, 1975.

Alberts, E. E., Neibling, W. E., and Moldenhauer, W. C., Transport of sediment nitrogen and phosphorus in runoff through cornstalk residue strips, Soil Sci. Soc. Am. J., 45, 1177, 1981.

Andraski, B. J., Mueller, D. H., and Daniel, T. C., phosphorus losses in runoff as affected by tillage, Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 1523, 1985.

Chang, A. C., Page, A. L., Sutherland, F. H., and Grgurevic, E., Fractionation of phosphorus in sludge - affected soils, J. Environ. Qual., 12, 286, 1983.

Fixen, P. E. and Grove, J. H., Testing soils for phosphorus, in Soil Testing and Plant Analysis, Westerman, R. L., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1991, 141.

Foth, H. D. and Ellis, B. G., Soil Fertility. John Wiley & Sons, New York, 1988.

Gachon, L., Les methodes d'appreciation de la fertilite phosphorique des sols, Bull. Assoc. Fr. Etude Sol, 4, 17, 1969.

Guertal, E. A., Eckert, D. J., Traina, S. J., and Logan, T. J., Differential phosphorus retention in soil profiles under no - till crop production, Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 410, 1991.

Hergert, G. W., Bouldin, D. R., Klausner, S. D., and Zwerman, P. J., Phosphorus concentration - water flow interactions in tile effluent from manured land, J. Environ. Qual., 10, 338, 1981.

Jones, C. A., Cole, C. V., Sharpley, A. N., and Willians, J. R., A simplified soil and plant phosphorus model. I. Documentation, Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 800, 1984a.

Jones, C. A., Sharpley, A. N., and Williams, J. R., A simplified soil and plant phosphorus model II Testing, Soil Sci. Am. J., 48, 810, 1984b.

Lemunyon, J. L. and Gilbert, R. G., Concept and need for a phosphorus assessment tool, J. Prod. Agric., in Press.

McCollum, R. E., Buildup and decline in soil phosphorus: 30 - year trends on a typic umprabuult, Agron. J., 83, 77, 1991.

Mozaffari, P. M. and Sims, J. T., Phosphorus availability and sorption in an Atlantic Coastal Plain watershed dominated by animal - based agriculture, Soil Sci., in press.

Mueller, D. H., Wendt, R. C., and Daniel, T. C., Phosphorus losses as affected by tillage and manure application, Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 901, 1984.

Payer, F. S. and Weil, R. R., Phosphorus renovation of wastewater by overland flow application, J. Environ. Qual., 16, 391, 1987.

Pierzynski, G. M. and Logan, T. J., Crop, soil, and management effects on phosphorus soil test levels, J. Prod. Agr., in Press.

Potash and Phosphate Institute (PPI), Soil test summaries: phosphorus, potassium and pH, Better Crops, 74, 16, 1989.

Ryding, S. O., Enell, M., and White, R. E., Swedish agricultural nonpoint source pollution: a summary of research and findings, Lake Resery. Manage., 6, 207, 217, 1990.

Sanchez, P. A. and Uehara, G., Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity, in The Role of Phosphorus in Agriculture, Khasawneh, F. E., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1980, 471.

Sharpley, A. N., The selective erosion of plant nutrients in runoff, Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 1527, 1985.

Sharpley, A. N. and Halvorson, A., The management of soil phosphorus availability and its transport in agricultural runoff, Adv. Agron., 1994.

Sharpley, A. N., Smith, S. J., Stewart, B. A., and Mathers, A. C., Forms of phosphorus in soil receiving cattle feedlot waste, J. Environ. Qual. 13, 211, 1984.

Sims. J. T., Environmental management of phosphorus in agricultural and municipal wastes, in Future Directions for Agricultural phosphorus Research, Bulletin Y- 224, National Fertilizer and Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL, 1992, 59.

Sims, unpublished data.

Weidner, K., Murky water, Pa State Agric., Spring/Summer, 2, 19, 1988.

Wolf, A. M., Baker, D. E., Pionke, H. B., and Kunishi, H. M., Soil tests for estimating labile, soluble, and algae - available P in agricultural soils, J. Environ. Qual., 14, 341, 1985.

Young, R. D., Westfall, D. G., and Colliver, G. W., Production, marketing, and use of phosphorus fertilizers, in Fertilizer Technology and Use, Engelstead, O. P., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1985.

مراجع مساعدة :

Mason, C. F., Biology of Freshwater Pollution, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1991.

Sharpiey, A. N. and Menzel, R. G., The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment, Adv. Agron., 41, 297, 1987.

Stewart, J. W. B. and Sharpley, A. N., Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur, in Soil Fertility and Organic Matter as Components of Production, Follett, R. F., Stewart, J. W. B., and Cole, C. V., Eds., SSSA Spec. Pub. 19, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1987, 101.

Syers, J. K. and Curtin, D., Inorganic reactions controlling phosphorus cycling, in phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Tiessen, H., Ed., UNDP, Saskatchewan Institute Pedology, Saskatoon, Canada, 1988, 17.

Taylor, A. W. and Kilmer, V. J., Agricultural phosphorus in the environment, in The Role of phosphorus in Agriculture, Khasawneh, F. E. Sample, E. C., and Kamprath, E. J., Eds., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1980, 545.

الفصل السادس

كبريت التربة والجودة البيئية

٦ - ١ الكبريت والبيئة:

الكبريت (S) عنصر غذائي ضروري، وهو مكوّن مطلوب لجميع النظم الحيوية بمافيها النبات، والحيوان، والإنسان. وبالرغم أن نقص الكبريت وسميته ذكرت بالنسبة لكل من النباتات والحيوانات، إلا أن الحالات التى تشمل نقص الكبريت فى النباتات فقط هى الأكثر أهمية؛ بسبب أن المناطق التى بها نقص فى الكبريت معروفة على مستوى العالم. والكبريتات (SO_4^{2-}) هى الصورة السائدة لكبريت التربة التى تمتص بواسطة النباتات، ولكنها ليست الصورة السائدة فى التربة؛ وهذا يفسر - ولو على الأقل جزئيا - السبب فى أن مناطق معينة قد يظهر بها نقص الكبريت للنبات. وإن مواد الأصل المنخفضة فى الكبريت، والمطر الغزير، والغسيل الكثيف، والأراضى التى تعرضت لتجوية شديدة، جنبًا إلى جنب مع الترسيب الفقير فى الكبريت من الغلاف الجوى، جميعها ظروف شائعة تصف المناطق الناقصة فى الكبريت.

ويوجد الكبريت فى الطبيعة فى صور عديدة عضوية وغير عضوية، وهى جزء من بيوجيو كيمياء دورة الكبريت العالمية (انظر الفصل التاسع، مناقشة الدورات البيوجيوكيميائية). وتعتبر مصادر الكبريت الرئيسية جزءًا من الليثوسفير، ويشبه فى ذلك الفوسفور. ومع ذلك، فإن دورة الكبريت العالمية تشبه كثيرا دورة النتروجين، بالرغم من أن مصدر النتروجين الرئيسى هو الغلاف الجوى. ومعظم الكبريت الذى يتم تدويره خلال الغلاف الجوى يحدث نتيجة أنشطة الإنسان؛ بالرغم أن مصدر الكبريت من الغلاف الجوى صغير، ومتوسط زمن البقاء (MRT) لمركبات الكبريت تؤدى إلى تدوير

للكبريت خلال الغلاف الجوى أكثر من النتروجين (بمعنى أن انطلاق الكبريت أكبر من انطلاق النتروجين). وفى الأراضى، فإن تحولات الكبريت تسيطر عليها بصفة مبدئية العمليات البيوكيميائية، والتى تلعب أيضاً دوراً مهماً فى تيسر الكبريت للنباتات.

وفى هذا الفصل سوف نناقش دور الكبريت فى النظم البيئية المختلفة الزراعية، والغابات، وأراضى المناجم، والمائية، مع تركيز خاص على الجانب البيئى للكبريت من ناحية: البيوجيوكيمياء، والصور العضوية وغير العضوية، والادمصاص، والتحولات، والتغذية، والإدارة.

٦ - ١ - ١ أهمية الكبريت :

مثل النتروجين، فإن الكبريت عنصر غذائى ضرورى فى الأحماض الأمينية العديدة التى تكون جزءاً من بروتين النبات والحيوان ، والكبريت أيضا مُكَوِّن مُهِّم فى الفيتامينات والهورمونات ، ويلعب الكبريت دوراً نشطًا فى التركيب البنائى للنبات وعمليات البناء الغذائى، وهو عنصر مهم للحيوانات حيث يؤدى الكبريت وظائف متعددة فى عمليات البناء، والتمثيل الغذائى (أو تحول المواد)، وجهاز التنظيم. ويُنظر إلى الكبريت غالبًا على أنه عنصر غذائى ضرورى للنبات؛ لأنه حتى وقت قريب جدا كان نقص الكبريت محدوداً للغاية. ولقد ناقشنا أهمية الكبريت فى تغذية النبات وتقدير تيسر الكبريت فى الأقسام ٦ - ٤ - ١ ، ٦ - ٤ - ٢ فيما بعد.

وبالنسبة للحيوانات، تعتبر الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت مكونات متكاملة (متممة) لكثير من المركبات البيوكيميائية بما فى ذلك البروتينات، والإنزيمات، وبعض الهورمونات ، كما تعتبر المركبات العضوية البيوكيميائية المحتوية كبريت أجزاءً مُهِمَّة فى عظام الحيوانات، والأوتار، والغضاريف، والجلد، وصمامات القلب. والكولاجين هو بروتين البناء الرئيسى فى الحيوانات، ويحتوى أحماض أمينية كبريتية. وبالنسبة للإنزيمات، يلعب الكبريت دوراً مهمًا فى نشاط الإنزيم ووظيفته. وقد يظهر نقص الكبريت فى الحيوانات على صورة: نقص فى الوزن، والكسل أو البلادة، ونقص

فى إنتاج اللبن، أو البيض، أو الصوف؛ وأعراض أخرى؛ وفى حالة طول مدة نقص الكبريت، يمكن أن تحدث الوفاة.

إن صورة الكبريت التى تزوّد بها الحيوانات حرجة؛ حيث إن الحيوانات غير المجترة غير قادرة على استخدام المركبات غير العضوية. والحيوانات المجترة، مثل الأغنام والماشية، قادرة على تمثيل صور الكبريت غير العضوية خلال نشاط الكائنات الدقيقة فى المعدة الأولى لها. والإمداد الثابت للكبريت مطلوب لغرض تحقيق نمو سليم سواءً للنباتات أو الحيوانات، ولكنه مطلوب بصفة خاصة للحيوانات بسبب أن الكبريت لا يختزن داخل أجسامها.

إن سمية الكبريت مشكلة خطيرة للنباتات والحيوانات؛ فبالنسبة للنباتات، تظهر السمية خلال النمو المتأخر، والاصفرار بين العروق الذى يمتد على طول حدود الورقة، والشيخوخة المبكرة للأوراق. ومع ذلك، وباستثناء الموالح، يبدو أن معظم المحاصيل لا تتأثر بزيادة الكبريتات؛ وبالنسبة لهذه النباتات التى تظهر عليها أعراض السمية، بصفة عامة فإن الكاتيون المرافق هو الذى يسبب الضرر. وفى قسم ٦ - ٤ تمت مناقشة التأثير السام لمركبات غاز ثانى أكسيد الكبريت، وغاز كبرتيد الهيدروجين على النباتات. أما بالنسبة للحيوانات، فسمية الكبريت بصفة أولية دالة لأنواع الكبريت. وتقاسى الحيوانات المجترة من سمية الكبريت عند استخدام كبريتات الأمونيوم أو الجبس كمصادر غير بروتينية للنتروجين أو كمصادر للكالسيوم. وتقاسى الحيوانات غير المجترة من سمية الكبريت عند استخدام كميات زائدة من الأحماض الأمينية المحتوية كبريت، خاصة الميثيونين، فى النظام الغذائى لها (الحمية).

٦ - ١ - ٢ التأثير البيئى للكبريت :

إن بعض الاهتمامات البيئية التى ترتبط بالكبريت مدونة فى جدول ٦-١. يتكون الترسيب الحامضى نتيجة أكسدة الكبريت والنتروجين فى الهواء الجوى، وسوف يناقش فى الفصل العاشر. وتحدث الأراضى الحامضية والصرف الحامضى للمناجم

جدول ٦ – ١ التأثيرات البيئية التى يسببها الكبريت.

الموضوع البيئى	وصف المشكلة
الترسيب الحامضى	يؤدى تكوين حامض الكبرتيك فى الغلاف الجوى إلى ترسيب رطب (المطر ، الجليد ، الندى ، الضباب) وترسيب جاف (المواد العالقة) ، وهى ضارة للكساء الخضرى ، والمياه السطحية ، والمبانى ، والإنشاءات ، والإنسان ؛ انظر جدول ٤ – ١ عن التأثيرات البيئية التى سببها النتروجين ، الفصل العاشر فيما يخص مناقشات تفصيلية عن الترسيب الحامضى
أراضى الكبريتات الحامضية	تنتج بسبب انطلاق حامض الكبرتيك فى الأراضى خلال أكسدة المواد الكبرتيدية التى يشيع وجودها فى المناطق الساحلية وفى مناطق تعدين الفحم الحجرى.
صرف المناجم الحامضى	يؤدى تأكسد الصور المختزلة للكبريت من أنشطة التعدين إلى إنتاج حامض كبرتيك ، وهذا يمكن أن يؤثر على الأراضى والمياه السطحية فى البيئة المحيطة.
النشاط الجيوحرارى	يخرج من الينابيع المائية الحارة وأماكن انطلاق الحرارة الأرضية كميات كبيرة من مركبات الكبريت الغازية والذائبة إلى سطح الكرة الأرضية ؛ ويمكن أن يموت الغطاء النباتى فى المنطقة المحيطة بسبب الأراضى شديدة الحموضة المتكونة ؛ كما تم تسجيل رقم حموضة pH منخفض جدا وصل إلى ٠,٩ فى الحديقة الوطنية فى Yellowstone ، بولاية Wyoming.

تلوث المياه الجوفية	مستويات الكبريتات العالية تجعل المياه الجوفية غير صالحة للاستهلاك الآدمى والحيوانى .
سمية الكبريت للحيوانات	تقاسى الحيوانات المجترة وغير المجترة من سمية الكبريت ؛ فالحيوانات المجترة سريعة التأثر بكبريتات الأمونيوم والجبس عندما تستخدم هذه المواد كمصادر غذاء غير بروتينية للنتروجين أو الكالسيوم على الترتيب ؛ كما أن الحيوانات غير المجترة سريعة التأثير بالأحماض الأمينية الكبريتية خاصة المثيونين عند استخدامها فى غذائها ؛ وعموما فإن الماشية حساسة أيضا لكبرتيد الهيدروجين (Goodrich and Garrett , 1986.).

عندما تتأكسد المعادن ومركبات الكبريت المختزلة، مكونة حامض كبريتك. ومن أمثلة صرف المناجم الحامضى المواقع كثيرة الانتشار فى مناطق المناجم غير النشطة أو المهجورة ، وفى عام ١٩٦٩، كان مصدر ٧٨٪ من صرف المناجم الحامضى مرتبطاً بمناجم الفحم غير النشطة أو المهجورة. ويعزى تدهور ١٦٠٠٠كم من الجداول إلى صرف المناجم الحامضى. ويمكن أن يؤثر النشاط الجيوحرارى فى النظم البيئية المحيطة بالتربة والنبات عن طريق انطلاق كميات معنوية من الكبريت الغازى والذائب فى الهواء الجوى. والكبريتات درجة ذوبان عالية، ومعروف عنها أنها تتراكم فى المياه الجوفية للبيئات الجافة ونصف الجافة. ولقد تمّ وضع ٢٥٠ جزء فى المليون (ملليجرام كبريتات فى اللتر) كمعيار لمياه الشرب ؛ بسبب أن الكبريتات وجد أنها تعمل كمليّن (مسهلة) لبعض الحيوانات والإنسان. وذكرت سابقا سمية الكبريت للحيوانات.

لقد أدت عمليات حرق الفحم الحجرى، وتكرير البترول، ومعالجة النحاس، والرصاص، والزنك، والنيكل إلى انبعاث كميات هائلة من الكبريت فى الجو كل عام (جدول ٦ – ٢). وتراوحت التقديرات العديدة تقريبا مابين ٢٠ إلى أكثر من ٥٠٪ من

كمية الكبريت الداخلة إلى الهواء الجوى والتى أصلها المصادر السابقة. وفى المناطق الصناعية، حيث ينطلق معظم الكبريت، أدى الترسيب الحامضى (ترسيب جاف أو رطب يحتوى مستويات عالية من حمض الكبرتيك) إلى مشاكل عديدة تُواجهها حاليا كثير من الدول على مستوى العالم. والترسيب فى المناطق المتأثرة به يمكن أن يكون له رقم حموضة أقل من ٤، بينما الأمطار فى كثير من المناطق غير الصناعية يمكن أن يكون لها أرقام حموضة من ٦ – ٧، وهذا يقترح ١٠٠ – ١٠٠٠ ضعف زيادة فى تركيز أيونات الهيدروجين (للترسيب فى المناطق الصناعية عن المناطق غير الصناعية).

وتختلف كمية الكبريت التى تسقط سنويا فى مياه الأمطار اعتمادا على طبيعة المصادر وعلاقتها بالإنسان وتطور أنشطته. وحيث أن النباتات تحتاج ٩ – ٣٩ كجم كبريت/ هكتار لانتاج محصول متوسط، فإن بعض المناطق تستفيد من الكبريت المضاف فى مياه الأمطار. وفى المناطق غير الصناعية، قد تكون كمية الكبريت كافية لانتاج محصول وفير باستمرار. فعلى سبيل المثال، تم حساب الكبريت (كجم/هكتار) فى الترسيب بالنسبة للمناطق الحضرية (غير الصناعية) والريفية العديدة فى الولايات المتحدة، ووجد أنه ١ – ٣٧ فى الولايات الجنوبية الشرقية، ٤ – ٤٢ فى ولايات وسط الغرب، ٥ – ١٧ فى ولايات مركز الشمال. ولقد تمت مقارنة ترسيب الكبريت فى المناطق الحضرية والريفية لأقطار أخرى بما ذكر سابقا، ووجد أنه ٢ – ١٦ فى كندا، ١٣ – ٢٧ فى الصين، ١٠ – ٢٠ كجم كبريت/ هكتار فى الاتحاد السوفيتى السابق.

٦ – ٢ دورة الكبريت العالمية :

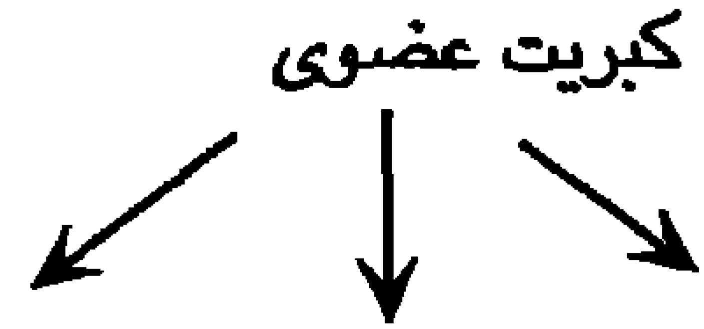
يوجد الكبريت فى صور كيميائية مختلفة عضوية وغير عضوية فى داخل بيئات الغلاف الجوى، والغلاف المائى، والتربة. ويوجد كبريت التربة فى هيئة أنواع مائية مثل الكبريتات، وصور صلبة تتكون من مادة معدنية ومكونات عضوية من أصل نباتى، وحيوانى، وميكروبى، وأنواع غازية. وتتراوح حالات التأكسد للكبريت من – ٢ إلى + ٦ (انظر جدول ٦ – ٣ لأمثلة من حالات التأكسد لأنواع كبريت غير عضوية وغازية). وعندما يحدث تدوير للكبريت خلال النظم البيئية للغلاف الجوى، والغلاف المائى،

جدول ٦ – ٢ تقدير انبعاثات الكبريت على مستوى العالم من المصادر الصناعية المختلفة.

المصدر	الكبريت المنبعث (Tجم/ سنة)	المصدر	الكبريت المنبعث (Tجم/ سنة)
الفحم الحجرى	٥١	مسابك الكروميوم	٥ر٧
الليجنيت (فحم حجرى بنى + بيت)	١٧,٥	تنقية النحاس	٤ر١
		سبك الرصاص	٨ر٠
فحم الكوك (قوالب)	١,٣	سبك الزنك	٥ر٠
مجموع الفحم	**٦٩,٨**	سبك النيكل	٨ر٠
تكرير البترول	٢ر٣	**مجموع عمليات المعادن**	**٠ر١١**
جازولين المحركات	٤ر٠	صناعة حامض الكبرتيك	٣ر١
كيروسين	١ر٠	الحرق	٣ر٠
وقود + ديزل	٧ر١	اللب والورق	٣ر٠
كوك البترول	٢ر٠	**مجموع هذه المتنوعات**	**٩ر١**
زيوت الوقود المتبقية	٠ر١٨		
مجموع البترول	**٢٣,٦**	**المجموع انبعاثات الكبريت على مستوى العالم**	**٣ر١٠٦**

والتربة، تحدث تحولات عديدة له – بسبب العمليات البيوكيميائية والكيميائية – وتتكون أنواع من الكبريت لها حالات تأكسد مختلفة. فعلى سبيل المثال، كبرتيد الكربونيل (cos)، أكثر غازات الكبريت انتشاراً فى الجو، يتأكسد إلى كبريتات أو يمتص بواسطة النباتات ويتحول فى عملية التمثيل الغذائى. وتستخدم الكبريتات الداخلة فى الأراضى بواسطة النباتات والكائنات الدقيقة وبواسطتهم تختزل الكبريتات فى عملية تكوين أحماض أمينية، وبروتينات، ومركبات أخرى بيوكيميائية تحتوى كبريت. وينتج عن تحلل المادة العضوية انطلاق لصور الكبريت المؤكسد والمختزل؛ ويتوقف هذا على الظروف البيئية التى يلعب فيها الأكسجين دوراً سيادياً. ولقد اقترحت مسارات عديدة لتحول مركبات الكبريت العضوى إلى مركبات كبريت متطاير تشمل مايلى:

كبريت عضوى



كبريتات ← سستين ← ميثيونين ← مركبات كبريت متطايرة ..... (٦ – ١)

وتُعتبر العمليات الفيزيائية مثل حركة الكبريت على هيئة أتربة، والترسيب الرطب والجاف، وتفاعلات الترسيب – الذوبان بما فيها المواد المتطايرة للكبريت، مسؤولة أيضا عن تحول الكبريت وانتقاله من نظام بيئى إلى آخر.

ويُعدّ أكبر مصدر للكبريت هو ذلك الموجود فى الليثوسفير، يليه الهيدروسفير (الغلاف المائى)، وأخيرا الغلاف الجوى الذى يحتوى فقط على كمية بسيطة من الكبريت (جدول ٦ – ٤). وعلاوة على ذلك، فإن أكبر احتياطى للكبريت يوجد فى رواسب البيريت، والطفلة، والمواد المتطايرة. وفى الأراضى، يتراوح تركيز الكبريت من منخفض حوالى ٠٠٢ر٠٪ فى الأراضى خشنة القوام المغسولة التى حدثت لها تجوية عالية فى المناطق الرطبة، إلى أكبر من ٥٪ فى الأراضى الجبسية الحديدية (الحديد وجبسية) فى المناطق الجافة ونصف الجافة، وفى الأراضى الناشئة من مستنقعات المد والجزر. وكبريت التربة تسوده الصور غير العضوية والعضوية، والنسبة بين الاثنين تختلف طبقا لخواص الأراضى (رقم الحموضة، حالة الرطوبة، محتوى المادة العضوية والطين)، وعمق التربة، والظروف المناخية.

جدول ٦ – ٣ صور الكبريت غير العضوية فى البيئة.

متوسط حالة التأكسد	الفئة	المركب	الصيغة الكيميائية
٢ –	كبرتيدات	أيون كبرتيد	S^{2-}
		أيون باى كبرتيد	HS^-
		كبرتيد الهيدروجين	H_2S
		كبرتيد الكربونيل	COS
١ –	كبرتيدات عديدة	داى كبرتيل	S_2^{2-}
		بيريت	FeS_2
صفر	عنصر	الكبريت	S^o
٢ + *	ثيوكبريتات	أيون ثيوكبريتات	$S_2O_3^{2-}$
		أيون باى ثيوكبريتات	$HS_2O_3^-$
		حمض ثيوكبرتيك	$H_2S_2O_3$
٤ +	كبرتيتات	أيون كبرتيت	SO_3^{2-}
		كبرتيت الهيدروجين	HSO_3^-
		ثانى أكسيد الكبريت	SO_2
٦ +	كبريتات	أيون الكبريتات	SO_4^{2-}
		باى كبريتات	HSO_4^-
		حمض كبرتيك	H_2SO_4

(Stevenson, 1986.)

* حالة تأكسد الكبريت فى الثيوكبريتات هى –٢ ، + ٦ بمتوسط قدره + ٢.

وفى دورة الكبريت، فإن تحول الكبريت من مصدر إلى آخر يحدث عند معدل يتناسب طرديا مع الكمية الداخلة والخارجة لمصدر ما، وله علاقة بانطلاق الكبريت (شكل ٦ – ١). وبالرغم أن كميات صغيرة من الكبريت تتحول من مصدر كبريت إلى مصدر آخر، إلا أن الإنسان له تأثير هائل على انطلاق الكبريت السنوى للغلاف الجوى. ومثلما أن الزيادة فى المواد الكربونية الداخلة إلى الغلاف الجوى بدأت منذ العصر الصناعى (انظر الفصل العاشر)، كذلك أيضا تزداد المواد الكبريتية. وعلى مدى المائة عام الماضية، تضاعف معدل الكبريت الداخل للغلاف الجوى عن طريق انبعاثات ناتجة من حرق الفحم الحجرى، وهى حاليا حوالى ٥ ر١ × ١٠^{١١} كجم كبريت فى السنة. ومع مرور الزمن، فإن كمية الكبريت المؤكسد تزداد، والبعض منها يعود إلى سطح الأرض كترسيب رطب وجاف (أى الترسيب أو المطر الحامضى). وتوجد فى الفصل العاشر مناقشات أوسع من ذلك على ترسيب الكبريت والنتروجين من الهواء الجوى.

وتُعتبر دورة كبريت التربة مشابهة فى كثير من النواحى لدورة النتروجين ودورة الفوسفور حيث يتأثر كل منهم بالعمليات البيوكيميائية والكيميائية. ويوضح شكل ٦ – ٢ دورة الكبريت – التى تركز على تحولات كبريت التربة، والنبات، والحيوان. وتوجد أربع صور سائدة للكبريت فى الأراضى وتشمل مركبات الكبريت المعدنى، والكبرتيدات، والكبريتات، والكبريت العضوى. وتنتج إضافات الكبريت الذائب إلى التربة من التجوية المعدنية، والترسيب من الهواء الجوى، والتسميد (ومحسنات التربة الأخرى)، وتحلل النبات والحيوان والمادة العضوية. ويحدث فقد الكبريت من الغسيل، ومياه الأمطار السارية على السطح، وإزالة المحصول. ويتوسط التحولات التى تحدث بين صور الكبريت العديدة بصفة مبدئية عمليات بيوكيميائية ستناقش فيما بعد بتفصيل أكبر فى هذا الفصل.

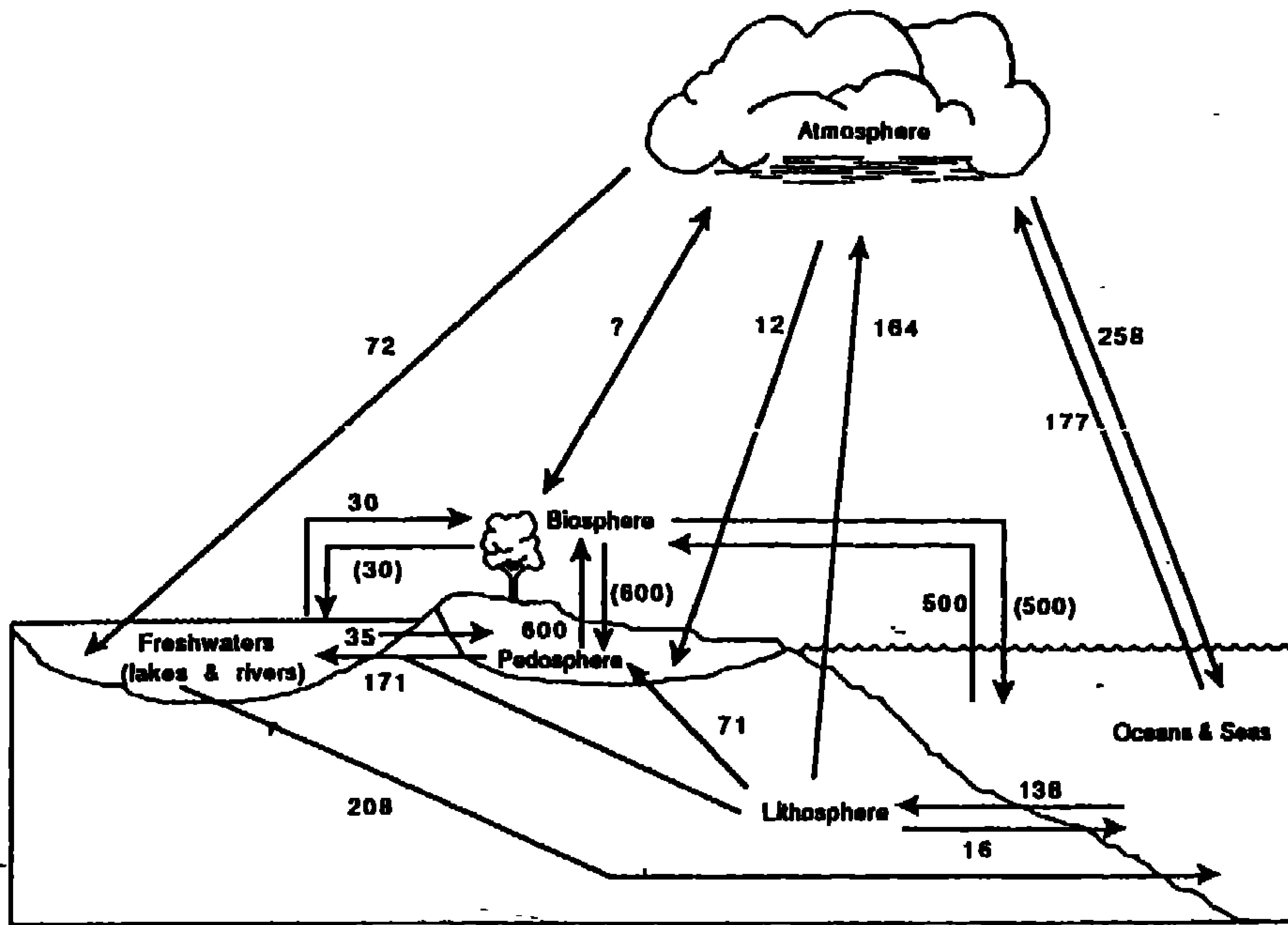
٦ – ٢ – ١ الكبريت غير العضوى فى الأراضى :

توجد فى الأراضى صور عديدة للكبريت غير العضوى (جدول ٦–٣)؛ ففى الأراضى جيدة الصرف، يوجد الكبريت غير العضوى بصفة أساسية فى صورة

جدول ٦ – ٤ كتلة الكبريت فى مصادره الرئيسية.

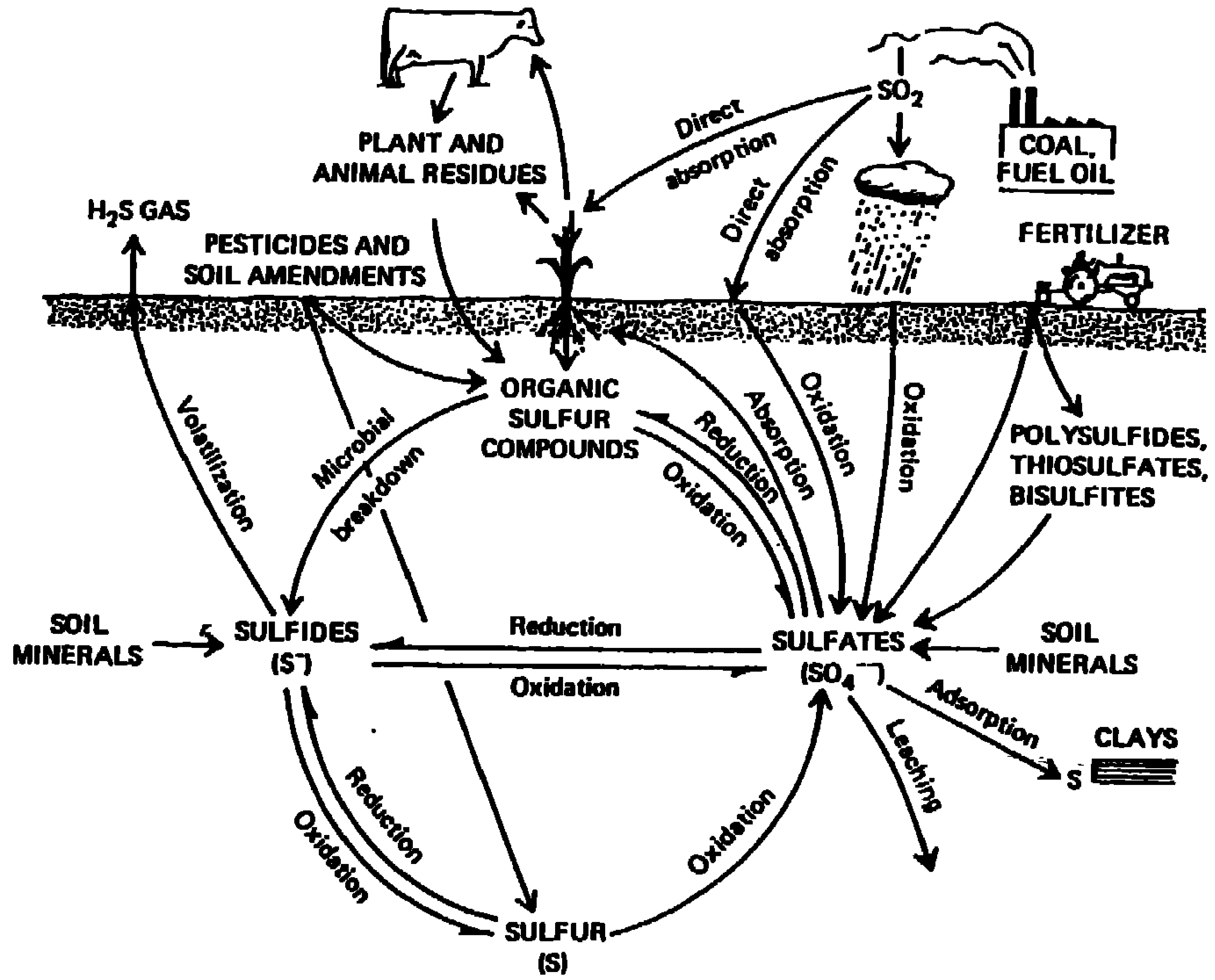
المصدر	الكتلة كجم S
الغلاف الجوى	$٣ر٦ \times ١٠^{٩}$
الغلاف المائى	$١ر٣ \times ١٠^{١٨}$
المحيطات	$١ر٣ \times ١٠^{١٨}$
الكائنات البحرية	$٢ر٤ \times ١٠^{١٠}$
الماء العذب	$٣ر٠ \times ١٠^{١٢}$
الثلج	$٦,٠ \times ١٠^{١٢}$
الغلاف الأرضى	$٢٤,١ \times ١٠^{١٨}$
صخور نارية	$٥ر٠ \times ١٠^{١٨}$
صخور متحولة	$١١ر٤ \times ١٠^{١٨}$
صخور رسوبية	$٧ر٧ \times ١٠^{١٨}$
أملاح متبخرة	$٥ر١ \times ١٠^{١٨}$
طفلة	$٢ر٠ \times ١٠^{١٨}$
حجر جيرى	$٠ر١ \times ١٠^{١٨}$
حجر رملى	$٠ر٣ \times ١٠^{١٨}$
أراضى	$٢ر٦ \times ١٠^{١٤}$
مادة عضوية فى الأراضى	$١ر٠ \times ١٠^{١٣}$
الغلاف الحيوى	$٧ر٦ \times ١٠^{١٢}$

(Freney, 1986 and Trudinger, 1986.)



شكل ٦ – ١ تحولات الكبريت بين مصادره المختلفة . الأرقام معطاة فى آجم / سنة (آجم = 10^{12} جم).
وقد افترض وجود اتزان الكبريت (المدخلات = المخروجات) بين الغلاف الحيوى والغلاف الجوى.
(Trudinger , 1986.)

كبريتات إما ذائبة، أو مدمصة، أو حالة صلبة. وتعتبر الأراضى المحتوية أكاسيد مائية للألومنيوم والحديد قادرة على ادمصاص الكبريتات وتمنعها من الغسيل. وتوجد الصورة الصلبة للكبريت، الجبس ($CaSO_4 . 2H_2O$)، بصفة أولية فى الأراضى الجيرية فى المناطق الجافة ونصف الجافة؛ وقد توجد أيضا $CaSO_4$ فى صورة معدنية مترسبة بالاشتراك ومرتبطة مع كربونات الكالسيوم (الحجر الجيرى)، كما توجد صور معدنية أخرى صلبة للكبريتات أقل شيوعًا، وتشمل : الباريت $BaSO_4$، والسيليستيت $SrSO_4$، والجاروسيت [$KFe_3(OH)_6(SO_4)_2$]، وكوكوينبيت [$Fe_2(SO_4)_3\ 5H_2O$] وفى الأراضى اللاهوائية مثل الأراضى الغدقة (الرطبة)، ومستنقعات المد والجزر، والأراضى رديئة الصرف، تصبح الصور المختزلة للكبريت هى الشائعة ويمكن أن تشمل FeS، FeS_2، H_2S، S^0.

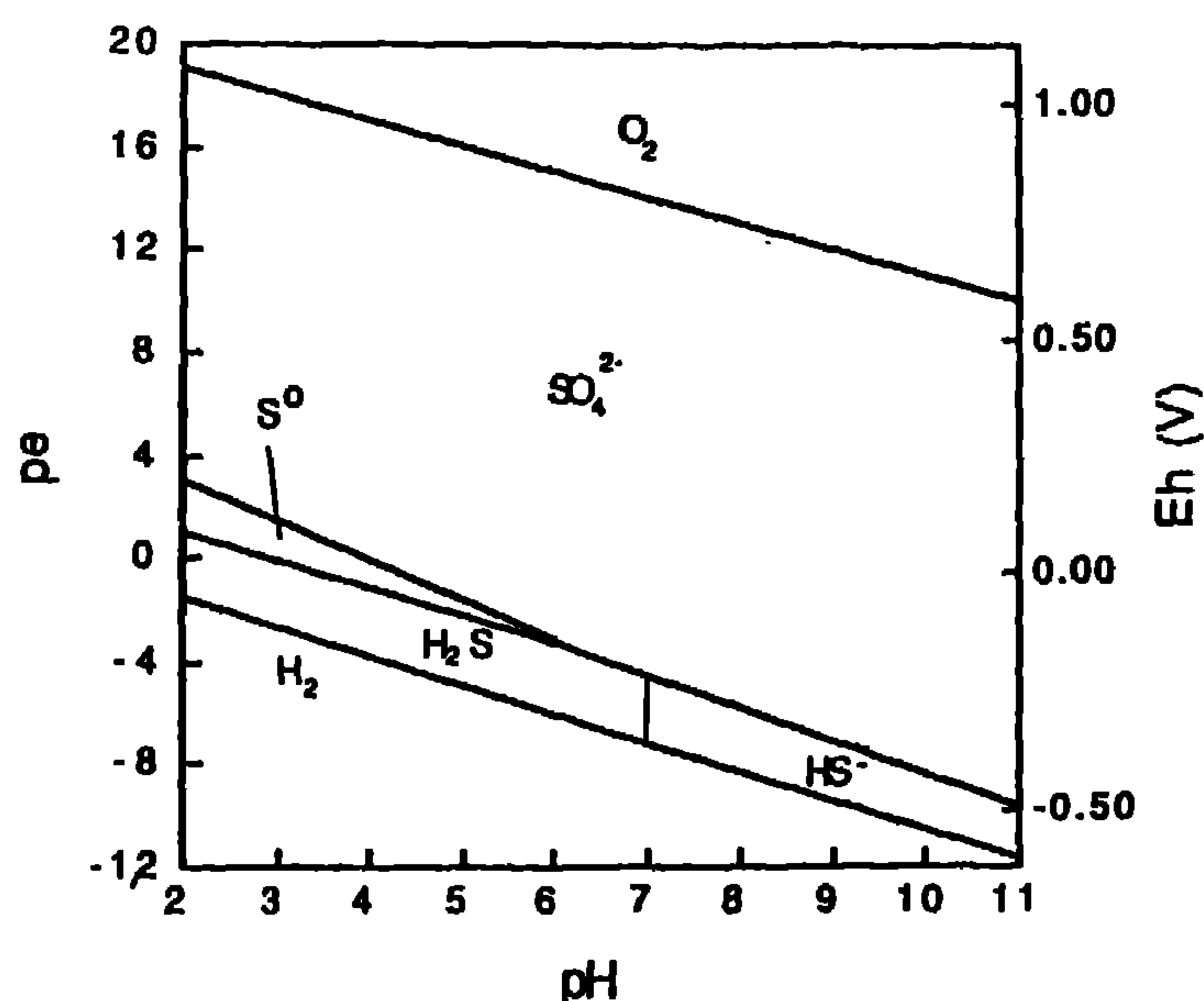


شكل ٦ – ٢ دورة الكبريت في الأراضي . وهي تصور الإضافات ، والفقد ، والتحولات التي تحدث في الأراضي. (Brady , 1974.)

وتوجد أيضا صور غازية للكبريت في الأراضي، وتتراوح من تركيزات صغيرة جدا في الأراضي جيدة الصرف والتهوية إلى تركيزات عالية في الأراضي الغدقة رديئة التهوية، وتعد مركبات كبريت التربة أقل تطايراً من مركبات كربون ونتروجين التربة، بينما لا توجد للفوسفور صور غازية في الطبيعة. والغازات المتكونة خلال تحلل المادة العضوية التي قد تنبعث من الأراضي تشمل ثاني كبرتيد الكربون CS_2، كبرتيد الكربونيل COS، ميثيل ميركابتان CH_3 SH، ثنائي ميثيل الكبرتيد $(CH_3)_2S$، وكبرتيد الهيدروجين H_2S؛ ولهم جميعًا روائح مميزة. ويبلغ مقدار الكبريت المنبعث من الأراضي اللاهوائية والأراضي الرطبة حوالي ٣٠ × $١٠^{١٢}$ جم / السنة.

ويتأكسد الكبريت المعدنى والكبرتيدات إلى حمض كبرتيك عند التعرض لظروف هوائية. وتحدث أكسدة للكبريت المختزل عندما تخرج المواد الجيولوجية من تحت السطح إلى سطح الأرض خلال أنشطة التعدين (فى المناجم) أو بناءٍ على صرف مستنقعات المد والجزر. وتحت مثل هذه الظروف قد ينخفض رقم حموضة المحلول إلى رقم ٢ أو أقل حتى يتأكسد الكبريت المختزل، أو يتعادل، أو يزال من بيئة التربة.

ويتم التحكم فى نوعية الكبريت غير العضوى عن طريق العلاقة بين pe (نشاط الإلكترونات أو حالة التأكسد/ الاختزال)، ورقم الحموضة (نشاط أيونات الهيدروجين) كما هو موضح فى شكل ٦ – ٣ فالكبريتات هى النوع السائد الذى يوجد عند مستويات pe مرتفعة وعند جميع مستويات رقم الحموضة pH. وعند مستويات pe منخفضة إلى متوسطة، يسود صنف الكبرتيد مع H_2S عند رقم حموضة أقل من ٧، HS^- عند رقم حموضة أكبر من ٧. ويمكن أن يوجد الكبريت المعدنى أيضا عند مستويات pe متوسطة (معتدلة)، ورقم حموضة حامضى. وبعض الأحماض الأمينية المحتوية على كبريت تُعد ثابتة عند مستويات pe + pH فى حدود مدى الكبريتات، ومن هذا نستنتج أن مركبات الكبريت العضوية قد تبقى وتستمر فى الظروف الهوائية للتربة.



شكل ٦ – ٣ العلاقة بين أنواع الكبريت عند أرقام pH , Pe مختلفة.

٦ - ٢ - ٢ الكبريت العضوى فى الأراضى :

الكبريت العضوى هو الصورة السائدة للكبريت فى معظم بيئات التربة والبيئات المائية. وتوزيع الكبريت فى أنواع عديدة من الأراضى مدون فى جدول ٦ - ٥، وهو يبين بوضوح أن الكبريت العضوى هو الصورة السائدة للكبريت فى التربة. وتتفوق تركيزات الكبريت غير العضوى بشدة على تركيزات الكبريت العضوى. فقط فى الأراضى الجيرية المنخفضة فى المادة العضوية، وهى مثال نموذجى للمناطق الجافة ونصف الجافة. ويمكن الحصول على بيانات أكثر عن مركبات الكبريت غير العضوية والعضوية باستخدام طرق تجزئ الكبريت، والتى سيتم مناقشتها فى القسم التالى.

وتختلف بدرجة كبيرة محتوى بيئات التربة والبيئات المائية من الكبريت العضوى، ويعتمد ذلك بدرجة أولية على كمية المادة العضوية الموجودة. وفى الأراضى، تتراكم المادة العضوية عند سطح التربة حيث تتحلل المواد النباتية ؛ أما آفاق تحت السطح فيمكن أيضا أن تتجمع فيها المادة العضوية طبقا لماهو موضح فى جدول ٦ - ٦. ويلاحظ فى هذا الجدول أن الكبريت الكلى والعضوى فى أرض رقم واحد ينقص مع العمق فى حين أن الكبريت غير العضوى يظل ثابتًا نسبيًا، بينما فى أرض رقم ٢ يوجد تراكم لجميع الثلاث صور للكبريت، ويحدث ذلك عند عمق ٣٠ - ٦٠ سم. وتمثل الأرض رقم ٢ نموذجاً لنوع أراضى سبود وسول (البودزول)، التى يحدث فيها تراكم للكبريت العضوى. من خلال حركة وانتقال المادة العضوية فى آفاق تحت السطح وترتبط الزيادة فى الكبريت غير العضوى مع زيادة ادمصاص الكبريتات بواسطة الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم التى تراكمت أيضا فى آفاق تحت السطح لأراضى البودزول.

وتنشأ مركبات الكبريت العضوية فى الأراضى والبيئات المائية من مصادر نباتية، وحيوانية، وميكروبية عديدة. والأحماض الأمينية المحتوية كبريت هى الأكثر انتشارا من بين مركبات الكبريت العضوية المعروفة ؛ وتبلغ ١٠ - ٣٠٪ من الكبريت الكلى فى أراضى عديدة. وهذه الأحماض الأمينية تتحلل بسرعة (فوراً)، وقد توجد فقط لفترات قصيرة من الزمن قبل أن تستخدم بواسطة الكائنات الدقيقة. وبالإضافة إلى ذلك، فالأحماض الأمينية المحتوية على كبريت ترتبط غالبا بالمادة المعدنية والمادة

جدول ٦ – ٥ توزيع الكبريت غير العضوى والعضوى فى الأراضى المختلفة.

نوع الأرض أو استخدامها	الموقع	S الكلى (مجم/كجم)	S غير العضوى (٪)	S العضوى (٪)
		المدى (فى قطاع أرضى واحد)		
زراعية	أيوا	٧٨ – ٤٥٢	١ – ٣	٩٧ – ٩٩
	البرازيل	٤٣ – ٣٩٨	٥ – ٢٣	٧٧ – ٩٥
	كندا	٨٠ – ٧٠٠	٨ – ١٥	٨٥ – ٩٢
	كوين لاند*	١١ – ٧٢٥	٢ – ١٨	٨٢ – ٩٨
	جنوب ويلز*	٣٨ – ٥٤٥	٤ – ١٣	٨٧ – ٩٦
	نيوزيلاند	٢٤٠ – ١٣٦٠	٢ – ٩	٩١ – ٩٨
غابات	نيوها مبشير	٤٥٢ – ١٥٦٣	١ – ٨	٩٢ – ٩٩
	نيويورك	٦٨ – ٢٠٠٣	١ – ١٨	٨٢ – ٩٩
	كندا	٣٦٤ – ١٥٩٣	٢ – ١٠	٩٠ – ٩٨
	إلينويس	١١٢ – ٥٥٥	٢ – ١٠	٩٠ – ٩٨
	ألمانيا	٧٤ – ٣٢٨	٧ – ٢٨	٧٢ – ٩٣
	أيوا	٥٥ – ٦١٨	١ – ٥	٩٥ – ٩٩
	انجلترا	٧٤٠٥	٥	٩٥
	سكوتلاند	٣٠٠ – ٨٠٠	٢ – ١٠	٩٠ – ٩٨
	سكوتلاند	٦٤٠ – ١٧٩٠	٢١ – ٨٩	١١ – ٧٩
	هاواى	١٨٠ – ٢٢٠٠	٦ – ٥٠	٥٠ – ٩٤

(Freney, 1986 and Mitchell et al ., 1992.)

(*) استراليا.

جدول ٦ – ٦ علاقة الكبريت الكلى ، وغير العضوى ، والعضوى بالعمق فى قطاعين من الأراضى ، مجم S / كجم أرض.

العمق (سم)	S الكلى		S غير العضوى		S العضوى	
	تربة (١)	تربة (٢)	تربة (١)	تربة (٢)	تربة (١)	تربة (٢)
٠ – ١٠	٤٣٦	٢٠٥	٧	٨	٤٢٩	١٩٧
١٠ – ٢٠	٣٨٩	٩٣	٦	٥	٣٨٣	٨٨
٢٠ – ٣٠	٣٤٢	١١٨	٦	٧	٣٣٦	١١١
٣٠ – ٤٥	٢٦٦	١٣٤	٦	١٨	٢٦٠	١١٦
٤٥ – ٦٠	٢٣٠	١٣٤	٨	٢٩	٢٢٢	١٠٥
٦٠ – ٧٥	١٨٨	١١٥	٧	٢٢	١٨١	٩٣
٧٥ – ٩٠	١٥٢	٩٩	٥	١٠	١٤٧	٨٩

(Williams , 1974.)

العضوية، وهذا يجعل استخلاصها من الأراضى صعبا. أما البوليسكريدات والليبيدات المحتوية كبريت فتوجد أيضا فى الأراضى، وقد تبلغ حوالى ٥٪ من الكبريت الكلى فى بعض الأراضى.

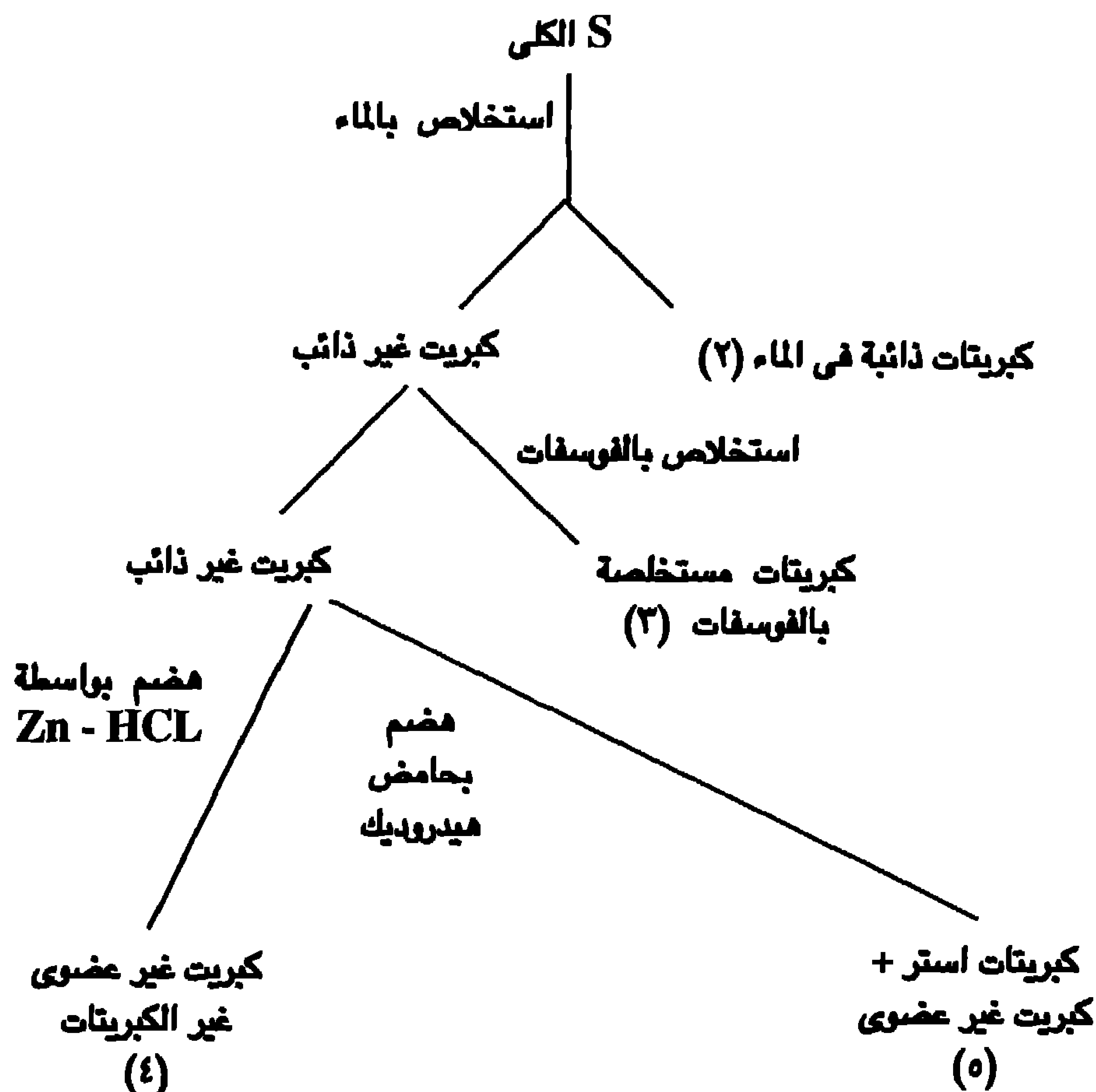
وتحتوى حمأة المجارى والأسمدة الحيوانية صورا عديدة من الكبريت العضوى. وبالرغم أن هذه المواد مفهوم أنها نواتج مخلفات تحتاج إلى التخلص منها، إلا أن فوائد متعددة يمكن تحقيقها عند استخدام الحمأة والأسمدة الحيوانية فى برنامج إضافتها للأراضى. وبالإضافة إلى المادة العضوية، والنتروجين، والفوسفور الموجود فى الحمأة والأسمدة الحيوانية، تُعتبر كلٌّ من صورتى الكبريت غير العضوى والعضوى جزءًا من هذه المواد. وعلى سبيل المثال، وجد أن بعض حمأة المجارى تحتوى على

كبريت معدنى، وكبرتيدات ، وكبريت عضوى مثل الأحماض الأمينية المحتوية كبريت، وألكيل بنزين سلفونات، والسكريدات العديدة الحامضية المحتوية كبريت، وكبريتات الإستر (جزء كبير منها يدخل فى المنظفات).

٦ - ٢ - ٣ مخطط تجزىء الكبريت :

تقدر عادة مركبات الكبريت العضوية فى التربة والبيئة المائية باستخدام طرق التجزىء بسبب الطبيعة غير المتجانسة للمادة العضوية (انظر الفصل الثانى)، وإن مكونات الكبريت التى تم التعرف عليها فى طريقة تجزىء الكبريت موضحة فى شكل ٦ - ٤، وهى توضح أن الكبريت يمكن أن يفصل فى خمسة أجزاء أساسية بالإضافة إلى الفوسفور الكلى. وكلٌ من الكبريت غير العضوى (الكبريتات، والكبريت غير الكبريتات، أساسا الكبرتيدات) والكبريت العضوى (المرتبط بالكربون وكبريتات الإستر) التى ذكرت فى الأقسام السابقة يمكن تقديرها بهذه الطريقة. وتوجد أمثلة من تركيزات ونسبة أجزاء الكبريت فى حمأة المجارى، والأراضى، ورواسب ومياه بحيرة مدونة فى جدول ٦ - ٧. ويمكن أن تستخدم أيضًا طريقة تجزىء الكبريت فى تقويم ديناميكية الكبريت فى التربة، والمياه، والهواء الجوى بما فى ذلك التحولات ومعدلات الانطلاق.

إن طبيعة ونسبة الكبريت فى التربة متغيرة إلى حد بعيد. وباستخدام طريقة تجزىء الكبريت، يتم تقدير أو حساب الكبريت الكلى فى عينة ثانية من التربة. ويقدر أيضاً الكبريت الذائب فى الماء والمستخلص فى الفوسفات فى عينات أخرى، والفرق بين الاثنين يعبر بصفة خاصة عن الكبريتات المدمصة (سوف تناقش الكبريتات المدمصة فى الجزء القادم). ويتم تقدير الكبريت غير الكبريتات غيرالعضوى مباشرة عن طريق الهضم بواسطة محلول Zn - HCl. ويشمل الكبريت العضوى صور كل من كبريتات الاستر (C - O - S) والكبريت المرتبط بالكربون (- C - S -) والذى تم تقدير الجزء الأول منه جنبًا إلى جنب مع الكبريت غير العضوى أثناء الهضم بحمض الهيدروأيوديك (HI). ويمكن الحصول على الكبريت المرتبط بالكربون عن طريق الفرق بين (الكبريت الكلى مطروحًا منه HI)، حيث لا توجد طريقة ميسرة تستطيع أن تحسب بالضبط جميع الكبريت المرتبط بالكربون فى العينة.



مكونات الكبريت :	الجزء :
كبريت كلى.	١
كبريتات ذائبة فى الماء.	٢
الكبريتات الممصة بالتحديد.	٣ – ٢
كبريت غير عضوى غير الكبريتات.	٤
كبريتات الإستر.	٥ – (٤ + ٣)
كبريت مرتبط بالكربون.	١ – ٥

شكل ٦ – ٤ رسم تخطيطى يوضح الأساليب المستخدمة فى طريقة تجزىء الكبريت.

ويوضح جدول ٦ – ٥ توزيع الكبريت غير العضوى والعضوى فى أراضى مختلفة. ويمثل الكبريت العضوى، الذى يتكون من كبريتات الإستر (شكل ٦ – ٥أ)، والكبريت المرتبط بالكربون (شكل ٦ – ٥ ب) صورة الكبريت السائدة الموجودة فى معظم الأراضى. ويبدو أن هناك فرقًا فى نسبة صور الكبريت العضوى فى الأراضى الزراعية مقابل أراضى الغابات. فتتراوح نسبة الكبريت الكلى فى الأراضى الزراعية الذى يتألف من كبريتات الإستر من ٣٥ – ٦٠٪، بينما فى أراضى الغابات يكون المدى أقل ويتراوح من ٢٠ – ٣٠٪. وتتراوح كمية الكبريت المرتبط بالكربون فى أراضى الغابات من٥٠ – ٨٠٪ من الكبريت الكلى. وفى الأراضى الزراعية، وجدت نسبة أقل لكبريتات الإستر ؛ وتعزى إلى إزالة الكبريت المرتبط بالكربون مع المحصول.

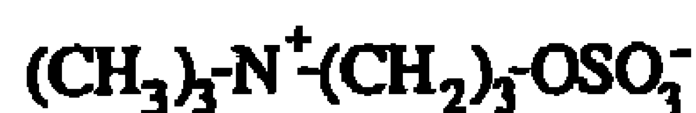
جدول ٦ – ٧ متوسط مكونات الكبريت فى عينات صلبة وعينات مائية من نظم بيئية مختلفة.

العينة	S الكلى	SO_4 المستخلصة	S غير عضوى غير الكبريتات	S إستر	S مرتبط بالكربون
حمأة المجارى*	٣٤٤	٣٧ (١١)	٤٦,٢ (١٣)	١٢٦ (٣٧)	١٣٤ (٣٩)
أرض (أفق Oi)*	٥٠,٠	٠,٥ (١)	٠,٦ (١)	٧,٢ (١٤)	٤١,٩ (٨٤)
تربة (أفق Bhs)*	١٦,٥	٠,٧ (٤)	٠,٧ (٤)	٣,٦ (٢٢)	١١,٥ (٧٠)
رواسب بحيرة *	٢٢٩	٣٥ (١٥)	١,٩ (١)	٤٥,٣ (٢٠)	١٤٦ (٦٤)
ماء بحيرة **	٠,٠٦	٠,٠٥(٨٣)	٠,٠ (٠)	٠,٠١ (١١)	٠,٠٠٤(٦)

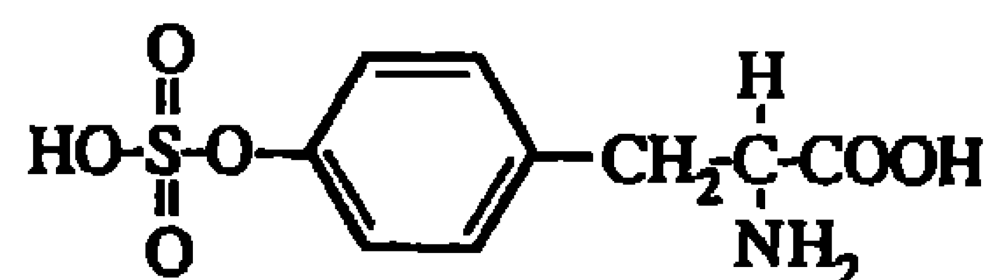
(Landers et al . 1983.)

ملحوظة : الأرقام بين الأقواس تمثل نسبة هذا الجزء من الكبريت الكلى.
(*) ميكرومول / جم.
(**) ميكرومول / لتر.

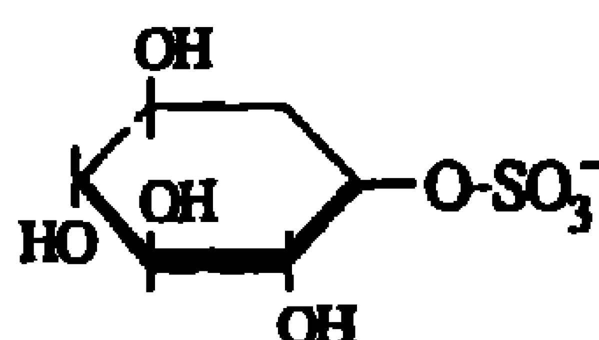
(a) Ester Sulfates



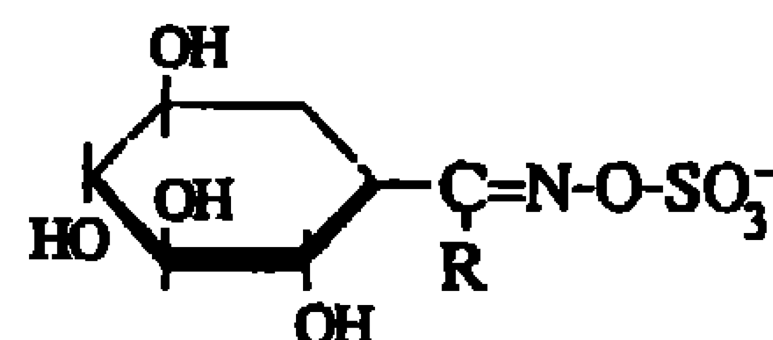
Choline Sulfate



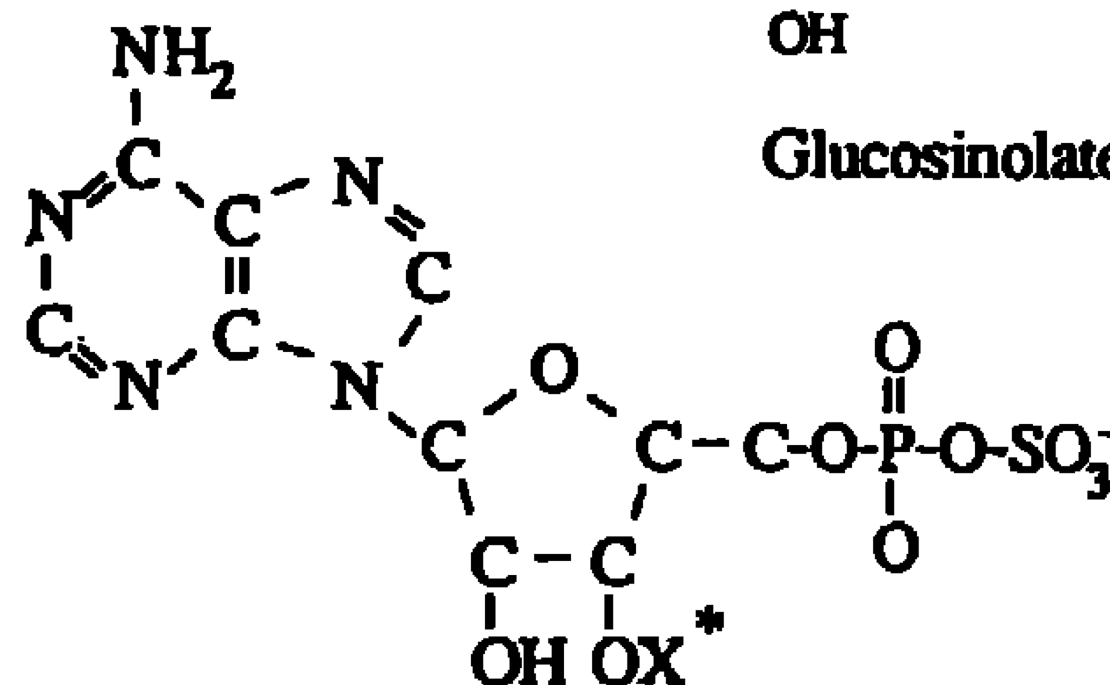
Phenolic Sulfate



Glucose Sulfate



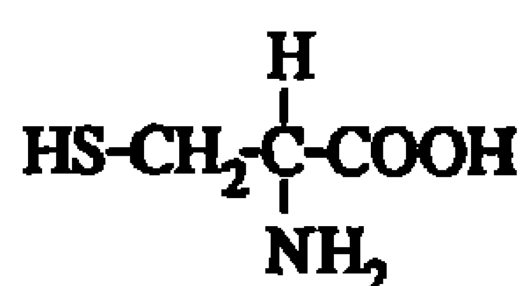
Glucosinolate



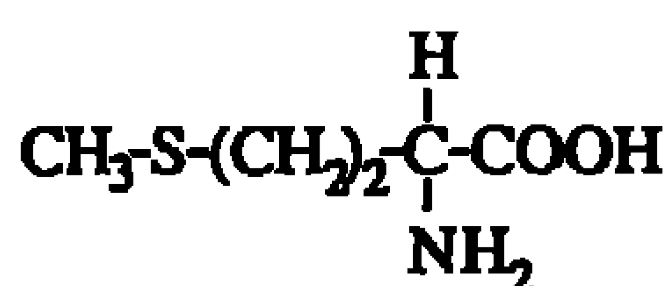
*Adenosine-5'-phosphosulfate (APS), if X = H

3'-Phosphoadenosine-5'-phosphosulfate (PAPS), if $X = PO_3^{2-}$

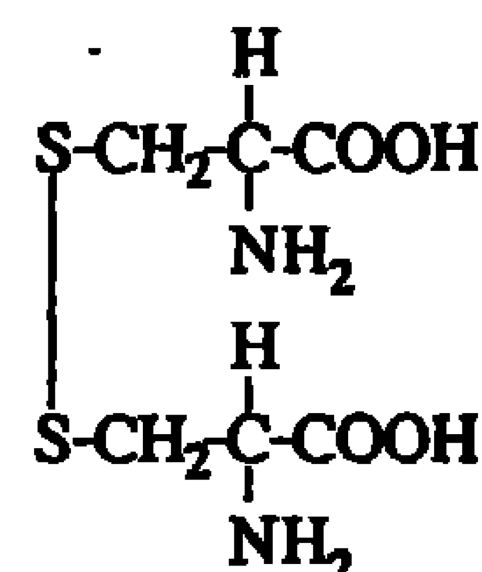
(b) Carbon-bonded Sulfur



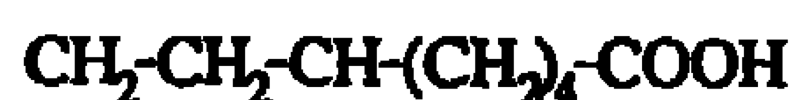
Cysteine



Methionine



Cystine



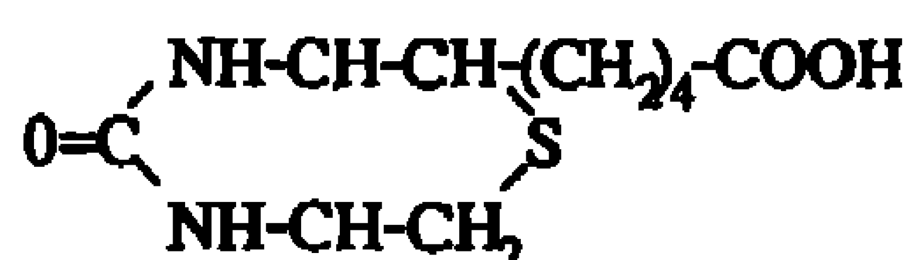
α-Lipoic acid



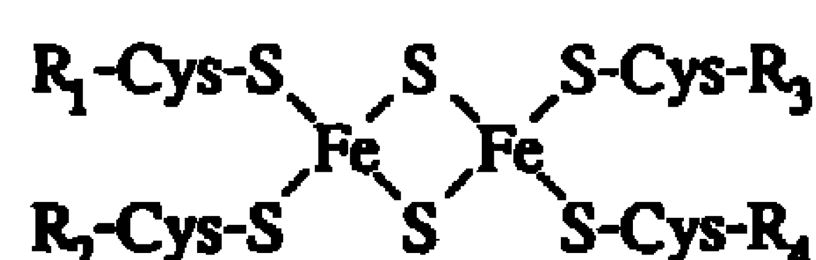
Taurine



Cysteic acid



Biotin



Fe-S protein

شكل ٦ – ٥ مركبات الكبريت العضوية المختلفة الموجودة فى الأراضى (a) كبريتات الإستر.
(b) مركبات الكبريت المرتبطة بالكربون.

٦ – ٣ احتجاز الكبريت وتحولاته فى الأراضى :

هناك عمليات كثيرة تحدث فى بيئات الأراضى وبيئات المياه وتؤثر فى حركة الكبريت وتحولاته، ولكن أهم هذه العمليات هو ادمصاص – انطلاق الكبريتات، والتأكسد – الاختزال للكبريت غير العضوى، وتحولات الكبريت العضوى. ولقد أُشير فى أقسام سابقة أن الكبريت العضوى يتضمن أكبر نسبة من الكبريت فى معظم الأراضى. وبناءً على ذلك، فإن تحولات الكبريت العضوى مهمة جدا خاصة عند الأخذ فى الاعتبار تدوير كبريت التربة وتفاعلاته.

٦ – ٣ – ١ ادمصاص وانطلاق كبريتات التربة :

يؤدى ادمصاص الكبريتات بواسطة الأراضى إلى الاحتفاظ بالكبريت الذى كان يمكن أن يغسل من قطاع التربة. وحيث أن الكبريتات هى الصورة الرئيسية للكبريت التى تمتص بواسطةالنباتات، فإن احتجاز (مسك) الكبريتات قد يشجع قدرة الأراضى على توفير الكبريت للنباتات فى المستقبل. ويمكن أن تكون كمية الكبريتات الذائبة فى الماء والقابلة للتبادل منخفضة فى بعض الأراضى، وهذا يعتمد على عوامل مثل نوع الأرض، والمناخ، وممارسات الإدارة. كما يمكن أن يكون للتركيب المنرالوجى للتربة تأثير معنوى على قدرتها على الاحتفاظ بالكبريتات المدمصة. فعلى سبيل المثال، كمية الكبريتات المدمصة فى تربة غابة تنيسي أكبر بمقدار ١٥ مرة عن الكبريت الكلى المخزن فى الكتلة الحيوية فوق سطح الأرض.

وتشمل مواقع ادمصاص الكبريتات الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم، وحواف معادن الطين الألومينو – سليكاتية، ومعقدات المادة العضوية – المعدن. وفى بعض الأراضى، فإن الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم المغلفة لحبيبات التربة (مثل الأفق B سبوديك) تسهم فى الغالبية العظمى لمواقع ادمصاص الكبريتات. ويتوقع أن يكون ادمصاص الكبريتات أكبر على الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم عديمة أو قليلة التبلور ؛ وذلك لأن لها مساحة سطح أكبر من الصور المتبلورة. وتتوقف أيضًا كمية

الكبريتات المدمصة على عدد المواقع الموجودة على حواف معادن الطين الألومينو سليكاتية. ولقد أوضحت بعض الدراسات أن معادن الطين من النوع ١ : ١ تدمص كميات أكبر من الكبريتات عما تفعله معادن الطين من النوع ٢ : ١. وادمصاص الكبريتات بواسطة معقدات «عضوية – معدن» يُفترض أن تحدث عن طريق تكوين معقدات من «عضوية – معدن – كبريتات».

ويتأثر ادمصاص الكبريتات بعوامل مثل رقم الحموضة، وكمية ودرجة تبلور الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم، ووجود مادة عضوية. ويحدث أعظم ادمصاص للكبريتات عند رقم حموضة منخفض، نموذجيا من ٣ – ٥ ر٤؛ ويعزى إلى محصلة شحنة السطح الموجبة التى تتكون على الأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم. وإن زيادة عدد مواقع الشحنات الموجبة مع نقص رقم الحموضة يشجع ادمصاص الكبريتات ، وبالرغم من ذلك، فالأكاسيد المائية للحديد والألومنيوم ليست ثابتة عند أرقام الحموضة المنخفضة جدا، ويؤدى ذوبانها إلى انخفاض عدد مواقع الادمصاص الميسرة، ويمكن للمادة العضوية أن تعوق أو تمنع ادمصاص الكبريتات عن طريق تغليف أسطح المعادن والأكاسد المائية أو تتنافس مع الكبريتات على مواقع الادمصاص.

وقد يحدث انطلاق الكبريتات فى الأراضى إذا استقبلت الأراضى مدخلات عالية من الكبريت وإذا كان سعة ادمصاصها للكبريتات منخفضة نسبيا، و/أو إذا حدث إحلال الكبريتات بأنيونات منافسة. وتنقص مع الزمن كمية الكبريتات القابلة للانطلاق بسهولة، والتى تعزى إلى تكوين كبريتات مرتبطة بقوة أكبر (وبالذات مدمصة) أو إلى تحويل الكبريتات إلى صور عضوية. ويتم تشجيع انطلاق الكبريتات باستخدام محلول استخلاص فوسفاتى، والذى يحل بسهولة محل الكبريتات الموجودة بالتحديد فى صور مرتبطة.

ويمكن تحليل ادمصاص الكبريتات باستخدام نماذج رياضية ؛ معادلة لا نجمير ومعادلة فرندلتش، (انظر الفصل الخامس لمناقشة هذه النماذج فى دراسات ادمصاص الفوسفور)، وحديثًا اقترح نموذج يسمى معادلة الكتلة الأولية (IM). ولقد وجد أن معادلة الكتلة الأولية تناسب بيانات ادمصاص الكبريتات فى أراضى الغابات أفضل

من معادلتى لانجمير وفرندلتش اللتين كانتا غير قادرتين على (١) إعطاء علاقة خطية أو(2) التحول للاستخدام فى النواحى التطبيقية، وتكتب معادلة الكتله الأولية كما يلى:

$$SO_4 \text{ (adsorbed or released)} = mX_i - b \quad \text{.....} \qquad (6 - 2)$$

حيث:

m = الميل.

Xi = الكمية الأولية للكبريتات فى المحلول بالنسبة لكتلة الأرض.

b = القاطع.

وحيث إن مستويات الكبريتات الأصلية عالية فى بعض الأراضى، فهناك حالات يحدث فيها انطلاق للكبريتات ، ويمكن حساب احتياطى مستودع التربة من الكبريتات (RSP) من معادلة الكتلة الأولية كمايلى:

$$RSP = \frac{b}{1 - m} \qquad 6 - 3$$

حيث:

RSP = مقياس لمستودع الكبريتات الاحتياطى الميسر (اللابايل) وهو القابل للإحلال أو التغير فى التربة، وهو تقدير للكبريتات النشطة بيولوجيا فى الأراضى.

٦ – ٣ – ٢ تفاعلات التأكسد – الاختزال للكبريت غير العضوى :

تفاعلات التأكسد والاختزال التى تشتمل على الكبريت غير العضوى تتوسطها عمليات ميكروبية. ويوضح شكل ٦ – ٢ دور تفاعلات التأكسد والاختزال للكبريت فى الأراضى، وهو عبارة عن رسم تخطيطى للمسارات المختلفة الميسرة لتأكسد أو اختزال الكبريت. وكما ذكر سابقا، فالكبريتات هى الصورة غير العضوية السائدة للكبريت فى الأراضى الهوائية. والكبرتيدات أكثر أهمية فى الأراضى اللاهوائية مثلما وجد فى

الأراضى الرطبة، والمستنقعات، ومستنقعات المد والجزر. ولذلك، فتفاعلات الاختزال المتضمنة كبريتات، وتفاعلات الأكسدة المتضمنة كبرتيد S^{2-} نوقشت هنا بعين الاعتبار.

ويحدث اختزال الكبريتات عن طريق الاختزال التمثيلى أو غير التمثيلى ، وتحدث عملية الاختزال الأولى (التمثيلى) عندما تستخدم الكائنات الدقيقة الكبريتات فى تمثيل (بناء) مكونات الخلية. وفى تحويل الكبريت غير العضوى إلى كبريت عضوى، يقال إن الكبريت حدث له تثبيت فى صورة عضوية. أما عملية الاختزال غير البنائى وهى فريدة أى مختصة بأجناس معينة من البكتريا – من بينها Desulfovibrio وهى أكثرها شهرة – التى تختزل الكبريتات إلى كبرتيدات، ويحدث اختزال الكبرتيات غير البنائى فى الظروف اللاهوائية مثل الأراضى الغدقة، والمستنقعات، والمياه الراكدة، ومستنقعات المد والجزر.

إن الظروف التى تصبح فيها الكائنات الدقيقة المختزلة للكبريت اختزالا غير تمثيلى قادرة على البقاء على قيد الحياة مختلفة تماماً؛ فيمكنها أن تعيش فى أراضى لها مدى واسع من pH ونسبة أملاح عالية مثل البحيرات المالحة، وقاع مناطق التبخير (الملاحات)، ورواسب البحار العميقة، وآبار البترول. وإن جهد تأكسد واختزال(E_h) أقل من ١٠٠ mV (pe = ٦٩ر١) مطلوب لنمو هذه الكائنات الدقيقة، وتحت جهود تأكسد – اختزال أعلى يمكنها أن تبقى فى حالة سكون.

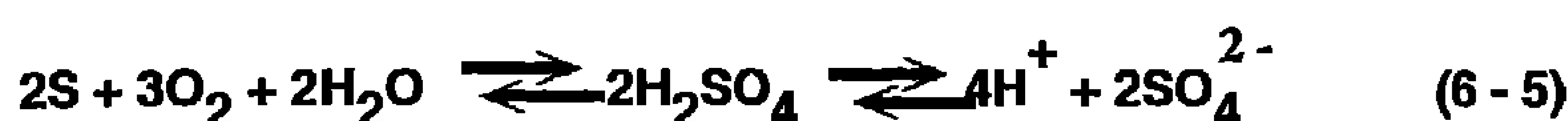
وتختلف المشاكل البيئية المرتبطة باختزال الكبريتات؛ ففى نظم الصرف الصحى، يؤدى إنتاج كبرتيد الهيدروجين إلى تآكل (أكسدة) الحجارة، والخرسانة، والأنابيب والمكونات الأخرى لنظام توزيع الصرف الصحى. ولكبرتيد الأيدروجين رائحة تشبه رائحة البيض الفاسد. ويسبب وجود صور مختزلة للكبريت فى وقود الفحم الحجرى، والرواسب، والأراضى اللاهوائية عدداً من المشاكل ؛ حيث إن الكبريت يتأكسد مرة أخرى إلى كبريتات، وهو ماسوف يناقش فيما بعد.

وتحدث أكسدة مركبات الكبريت غير العضوى المختزلة تحت الظروف الهوائية وتتبع مسارات عديدة. وبالرغم من أن أكسدة الكبريت تعتبر بصفة أساسية نتيجة عمليات بيوكيميائية، فإن الأكسدة الكيميائية للكبرتيدات (S^{2-})، والكبرتيتات (S_3^{2-})،

والثيوكبريتات تحدث فوراً فى الطبيعة، وبالرغم من ذلك، فإن معدل الأكسدة الكيميائية أبطأ من عمليات الأكسدة البيوكيميائية. وأكسدة الكبريت المختزل عملية ذات تأثير حامضى، ويعتبر هذا سببا للقلق فى حالات معينة. وفيما يلى أمثلة من أكسدة الكبريت التى تؤدى إلى تكوين حموضة:



$$H_2S + 2O_2 \rightleftharpoons H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{2-} \quad (6-4)$$



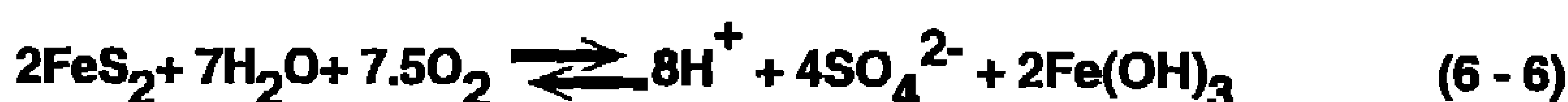
$$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightleftharpoons 2H_2SO_4 \rightleftharpoons 4H^+ + 2SO_4^{2-} \quad (6-5)$$

توجد أنواع عديدة من الكائنات الدقيقة، ذاتية التغذية وعضوية التغذية، قادرة على أكسدة الكبريت. بكتريا جنس الثيوباسيلس Thiobacillus قادرة على المعيشة والبقاء حية فى مدى واسع من ظروف التربة والظروف البيئية ؛ وبعض أنواع الثيوباسيلس قادرة على المعيشة فى التربة فى pH يتراوح من ٥ ر١ إلى ٠ ر٩. وبكتريا الـ Sulfolobus وهى مجموعة أخرى من الكائنات المؤكسدة للكبريت التى تعيش فى مياه الينابيع الساخنة الغنية بالكبريت. وهى تعيش فى مياه يتراوح pH لها من ٢ إلى ٥، ودرجة حرارة من ٦٠ – ٨٠ ° مئوية. وصنف آخر من الكائنات الدقيقة المؤكسدة للكبريت التى تعيش فى ينابيع ساخنة هى بكتريا Thermothrix؛ وهى تختلف عن بكتريا Sulfolobus فى أنها تنمو فى المياه التى لها pH قريب من التعادل.

وفى الأراضى المتعادلة والقاعدية، فإن مؤكسدات الكبريت الأساسية قد تكون مجموعة من الكائنات الدقيقة عضوية التغذية. وتشمل هذه أجناس عديدة من البكتريا (أرثوباكتر، باسيلس، ميكروكوكس، الميكروباكتريوم، سيدوموناس)، بالإضافة إلى بعض الأكتينوميسيتات والفطر القادرة على أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية. ويعتقد أن هذه الكائنات الدقيقة تؤكسد الكبريت غير العضوى فقط كنتيجة لعمليات أخرى بنائية.

والعوامل التى تؤثر فى أكسدة الكبريت فى الأراضى تشمل: نوع التربة، pH، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والمادة العضوية. وتعتبر أكسدة الصور غير العضوية المختزلة للكبريت عملية تحميض يمكن أن ينشأ عنها أراضٍ حامضية، والتى تعتبر سامة للنباتات، والحيوانات، والكائنات الدقيقة. ويحدث الصرف الحامضى» المناجم

عندما تتأكسد الصور المختزلة للكبريت خلال عملية التعدين. وتحدث أكسدة البيريت – معدن شائع يحتوى كبريت – الموجود فى بيئات تحت السطح المختزلة، كالتالى:

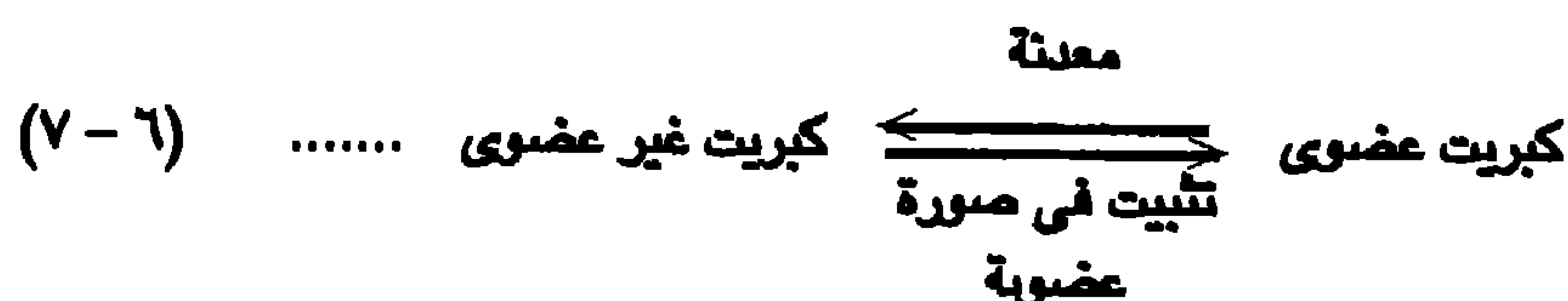


$$2FeS_2 + 7H_2O + 7.5O_2 \rightleftharpoons 8H^+ + 4SO_4^{2-} + 2Fe(OH)_3 \qquad (6 - 6)$$

٦ – ٣ – ٣ تحولات الكبريت العضوي :

تعتبر تحولات الكبريت العضوى إلى كبريت غير عضوى وغازات متطايرة عمليات يتوسطها نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة. وإن انطلاق الكبريت غير العضوى خلال عملية تحلل المادة العضوية مهم من أجل توفير كبريت كاف لنمو النبات. وإن عوامل التربة التى تؤثر فى نمو ونشاط الكائنات الدقيقة (وهى: pH، الحرارة، رطوبة التربة، المادة العضوية) سوف تؤثر أيضا فى معدل تحولات الكبريت العضوى.

وتحول الكبريت العضوى إلى كبريت غير عضوى، وتحول الكبريت غير العضوى إلى كبريت عضوى عبارة عن عمليتين تصفان معدنة الكبريت وتثبيته فى صورة عضوية، على التوالى، كما تبينها المعادلة التالية:



وخلال عملية معدنة الكبريت، فإن الكبريت غير العضوى – وبصفة أساسية الكبريتات – ينطلق ؛ حيث أن الكائنات الدقيقة تحلل المادة العضوية، مستخدمة بعض الكبريت لتخليق مكونات الخلية وينطلق بعض الكبريت غير العضوى إلى محلول التربة. وإن عملية تثبيت الكبريت فى صورة عضوية، من ناحية أخرى، عبارة عن عملية يتم فيها تمثيل الكبريت غير العضوى بواسطة الكائنات الدقيقة عندما تضاف مصادر طاقة عضوية منخفضة فى الكبريت (مثل المادة العضوية) إلى الأراضى. ولقد نوقشت عمليات المعدنة – التثبيت للنتروجين والفوسفور فى الفصول السابقة.

٦ - ٤ استجابة النبات للكبريت :

الكبريت أحد العناصر الغذائية الثانوية للنبات (Mg , Ca , S)، ولكن اعتبره الكثيرون أهم عنصر غذائى رابع للنبات بعد النتروجين، الفوسفور، والبوتاسيوم. ولقد أصبحت أعراض نقص الكبريت شائعة باطراد بسبب أن الأسمدة التى كانت تستخدم وتحتوى كبريت (مثل السوبر فوسفات العادى، كبريتات الأمونيوم) قد تم إحلالها بواسطة أسمدة منخفضة فى الكبريت (السوبر فوسفات الثلاثى، فوسفات ثنائى الأمونيوم)، والمبيدات المحتوية كبريت تحولت إلى مبيدات أساسها عضوى، ومدخلات الكبريت من الهواء الجوى انخفضت – وجميع هذه العوامل أدت إلى تقليل كمية الكبريت المضاف إلى الأراضى. ومنذ تصنيع أسمدة جديدة عالية الدرجة تحتوى على شوائب بسيطة من الكبريت، فإن أعراض نقص الكبريت أصبحت ظاهرة أكثر فى أجزاء كثيرة من العالم. وقد أدت الطلبات الإضافية من أجل تحقيق محصول أعلى أيضًا إلى طلب أكبر على احتياطى الكبريت فى التربة، وذلك لتوفير كميات زائدة من الكبريت الميسر للنمو المتزايد للنبات. ولقد ذكرت تقارير عن نقص الكبريت وزيادة المحصول الراجعة إلى التسميد بالكبريت فى مناطق عديدة فى كل مكان فى الولايات المتحدة وفى أماكن أخرى من العالم.

وقد يكون لمركبات الكبريت الغازية فى الغلاف الجوى تأثير ضار، أو مفيد، أومتعادل على النباتات . فتركيزات صور الكبريت الغازية فى الجو المحيط (H_2S , SO_2) منخفضة، ويمكن أن تكون مفيدة، وبالرغم من ذلك، فإنه بالقرب من المناطق التى بها انطلاق عالى، فإن تركيزات هذه الغازات المحيطة فى الجو قد تكون ضارة للنباتات. وتمتص النباتات غاز ثانى أكسيد الكبريت SO_2 عن طريق فتحات الثغور، وتكون قادرة على أكسدة ثانى أكسيد الكبريت إلى كبرتيتات وكبريتات. ومع ذلك، فعندما تتعرض النباتات إلى مستويات من ثانى أكسيد الكبريت تفوق قدرة النبات على أكسدة الكبرتيتات إلى كبريتات، فإن الكبرتيتات يمكن أن تتراكم فى النبات إلى مستويات سامة. وتظهر الأعراض المرئية على الأوراق المتأثرة، ويمكن أن يكون التشخيص غير صحيح بسبب أنواع أخرى من الضرر، وإن ملاحظة القرب الكبير لمصدر توليد غاز ثانى أكسيد الكبريت سوف يساعد كثيرا فى تشخيص عما إذا كانت

كبريتات ← أدينوسيل O – فوسفوكبريتات (APS) ← (- SH) ← سستين ← مثيونين

بروتين (Fe - S)

سيرين

حمض أسبارتيك

CH_3

مثيونين ← بروتينات

سستين ← ثيامين
حمض ليبويك
بيوتين
مساعد انزيم A
جلوتاثيون
سيستينات استبدل فيها الكبريت

أدينوسيل O – فوسفوكبريتات (APS) ← ٣- فوسفور – APS ← كبريتات الإستر

شكل ٦ – ٦ المسارات المتضمنة تحولات الكبريتات إلى مركبات كبريت عضوية فى النباتات ويشير SH – إلى اختزال الكبريتات فى APS.
(Thompson et al ., 1986.)

تحدث السمية بالكبريت أم بغيره. وتعرّض النباتات على المدى القصير لغاز ثانى أكسيد الكبريت يسبب عامة ضرراً بسيطاً فى حالة حدوثه ؛ بينما التعرض المستمر لمستويات منخفضة، مثل المواقع الجيوحرارية القريبة، قد يؤثر على النباتات فيسبب آفات الأوراق، وسقوطها، ونقص نموها.

٦ - ٤ - ١ الكبريت فى تغذية النبات :

تختلف احتياجات الكبريت حسب أنواع النباتات، والأصناف، ومراحل النمو. وتوجد مركبات الكبريت العديدة فى النباتات، ولكن يعتبر معظم الكبريت جزءاً من الأحماض الأمينية المحتوية كبريت مثل السستين، والسستاين، والميثيونين، والتى وجدت بكثرة فى البروتينات. وهناك مركبات أخرى تحتوى كبريت تشمل الفيتامينات، والبيوتين، والثيامين، B1، وبعض مساعدات الإنزيمات الأخرى، وحمض ليبويك، ومساعد الإنزيم A (CoA). وقد يؤدى نقص الكبريت ليس فقط إلى تخفيض المحصول بسبب التغذية غير الصحيحة للنبات، ولكن أيضا قد يخفض جودة نواتج معينة للمحصول (مثل: قابلية هضم الأعلاف، وجودة خبيز الدقيق).

ويوضح الشكل ٦ - ٦ مسارات الكبريت المختلفة التى تشملها عملية تخليق مركبات الكبريت العضوية، بداية بالكبريتات. فور دخول الكبريت (أساسا الكبريتات) إلى النبات، ينشط (الكبريت) خلال عملية تكوين مركب أدينوسين - ٥ - فوسفات (APS)، والأخير يعتبر بشيرا (أى مركب تمهيدى) لتكوين مركب ٣ - فوسفو أدينوسين - ٥ - فوسفات (PAPS)، والذى هو مركب وسيط فى تكوين كبرتيات الاستر. وتُختزل الكبريتات المنشطة فى APS، والكبريت المختزل يندمج فى إما بروتينات كبريت وحديد أو السستين الذى يعمل أيضًا كبشير (أى مركب تمهيدى) لمركبات كبريت عضوية عديدة (الثيامين، حامض الليبويك، البيوتين، مرافق الانزيم A، الجلوتاثيون، السستينات التى حدث فيها إحلال للكبريت). وتندمج نسبة كبيرة جدا من الحامضين الأمينيين المحتويين كبريت (السستين والميثونين) فى بروتينات عديدة.

يعزى عدد من وظائف النبات المهمة إلى المركبات المحتوية كبريت، وفى الواقع، يعتمد بناء (أيض) النبات وفسيولوجيا النبات على هذه المركبات. فالميثونين والسستين مركبان ضروريان لكثير من إنزيمات النبات، ويعزى تركيبهما ووظائفهما – جزئيا – إلى تفاعلات الكبريت، كما يدخل البروتين المحتوى حديد وكبريت – Ferrodoxin – فى تفاعلات التأكسد – الاختزال، ويلاحظ معظمه فى صورة مركب ثابت فى عملية التمثيل الضوئى، كما أن بناء النتروجين الذى يشتمل اختزال النترات، وتثبيت النتروجين N_2، وتمثيل الأمونيوم، له علاقة مباشرة أو غير مباشرة بالكبريت. ونقص الكبريت يمكن أن يقلل تثبيت النتروجين التكافلى، والذى يمكن أن ينتج عنه نقص نتروجين النبات.

ويمكن التعرف على نقص النتروجين من خلال الأعراض المرئية للأوراق التى يتغير لونها من أخضر فاتح إلى أصفر، ويظهر ذلك فى البداية بطول عروق الأوراق الحديثة. والنباتات البقولية بصفة خاصة حساسة لنقص الكبريت، ويتم فى الغالب تشخيصها على أنها تعانى نقصاً فى النتروجين بسبب التشابه فى الأعراض. ويعتبر البرسيم الحجازى ونبات الكانولا – بسبب احتياجاتهما العالية للكبريت – حساسين بدرجة كبيرة لنقص الكبريت. وفى نبات الذرة، لوحظت أعراض نقص الكبريت باصفرار الأوراق الأحدث، بينما لوحظت أعراض نقص النتروجين على الأوراق الأقدم. وفى بعض الأحيان، تظهر أعراض نقص الكبريت على البادرات، ولكن هذه الأعراض تقل كلّما توغلت الجذور إلى مسافات أبعد فى طبقة تحت التربة.

٦ – ٤ – ٢ دلالات تيسر الكبريت :

توجد طرق عديدة ميسرة لتقويم حالة الكبريت فى الأراضى والنباتات. ولا توجد تقنيات عالمية لتقويم تيسر الكبريت فى الأراضى، أو لتشخيص أعراض نقصه فى النباتات.ومع ذلك، فمن المعروف أن الكبريت الكلى فى الأراضى ليس اختباراً صادقًا لتيسر الكبريت ؛ حيث إن معظم الكبريت يوجد فى صور غير ميسرة للنبات. وبالنسبة للأراضى، يتم تقدير تيسر الكبريت عامة باستخلاص التربة بالماء أو بمحاليل تحتوى

على ملح، أو حامض مخفف، أو فوسفات. وبالاعتماد على طبيعة محلول الاستخلاص، يمكن الحصول على معلومات عن محتوى التربة في: (١) الكبريتات الميسرة، (٢) الكبريتات الميسرة والمدمصة، (٣) الكبريتات الميسرة والمدمصة وأجزاء من الكبريت العضوى. وبالإضافة إلى طرق الاستخلاص، تستخدم أيضًا تقنيات التحضين والتحاليل الميكروبية لتقدير الكبريت الميسر للنبات.

جدول ٦ – ٨ احتياجات الكبريت الكلية في محاصيل العلف والمحاصيل الزراعية المختلفة.

المحصول	S (%)		
	منخفض	كافٍ	مرتفع
برسيم حجازى	< ٢٥ر٠	٢٥ر٠ – ٥٠ر٠	> ٥٠ر٠
شعير	< ١٥ر٠	١٥ر٠ – ٤٠ر٠	> ٤٠ر٠
برسيم أبيض	< ٢٥ر٠	٢٥ر٠ – ٥٠ر٠	> ٤٠ر٠
ذرة	< ٢٥ر٠	٢٥ر٠ – ٨٠ر٠	> ٨٠ر٠
قطن	< ٢٥ر٠	٢٥ر٠ – ٨٠ر٠	> ٨٠ر٠
حشائش وأعشاب	< ١٧ر٠	١٧ر٠ – ٣٠ر٠	> ٣٠ر٠
شوفان	< ١٥ر٠	١٥ر٠ – ٤٠ر٠	> ٤٠ر٠
فول سودانى	< ٢٠ر٠	٢٠ر٠ – ٣٥ر٠	> ٣٥ر٠
فول الصويا	< ٢٠ر٠	٢٠ر٠ – ٤٠ر٠	> ٤٠ر٠
قصب السكر	< ١٤ر٠	< ١٤ر	—
قمح ربيعى	< ١٥ر٠	١٥ر٠ – ٤٠ر٠	> ٤٠ر٠

(Janes et al ., 1991.)

وتشمل بعض التقنيات الشائعة الاستخدام لتشخيص أعراض نقص الكبريت فى النباتات: الكبريت الكلى، والكبريت فى صورة كبريتات، ونسبة الكبريت فى صورة كبريتات: الكبريت الكلى، ونسبة النتروجين: الكبريت، ونظام التشخيص والتوصيات المتكاملة (DRIS). وتعتبر مستويات الكبريت الكلى فى النباتات، بصفة عامة، دلالة على تيسر كبريت التربة، وذلك لأن النباتات تحصل على معظم الكبريت اللازم لها فى صورة كبريتات من المحلول الأرضى. وبالرغم من ذلك، فهناك عوامل عديدة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند ترجمة نتائج الكبريت الكلى بسبب أن الكبريت الكلى يختلف مع أجزاء النبات، وعمر النبات والنسيج، وتفاعلاته مع العناصر الأخرى. ويوضح جدول ٦ – ٨ المستويات المنخفضة، والكافية، والعالية للكبريت الكلى فى عدد من محاصيل الأعلاف والمحاصيل الحقلية. ويمكن أن تستخدم كمية الكبريت فى صورة كبريتات فى النبات لتقدير متى يعتبر الكبريت ناقصا أو زائدا؛ فنسبة الكبريت فى صورة كبريتات المنخفضة فى النبات توضح أن الكبريتات قد اندمجت فى مركبات كبريت عضوية، فى حين أن نسبة الكبريت فى صورة الكبريتات المرتفعة تقترح أن النبات يقوم بتجميع الكبريت أو أن الكبريت يتراكم داخل النبات. والنسبة بين الكبريت فى صورة كبريتات: الكبريت الكلى مستقلة نسبيا عن مرحلة نمو النبات، وقد تعطى تقديراً أفضل لاحتياجات النبات للكبريت؛ والنسبة الحرجة حوالى ١ر٠. وتستخدم نسبة النتروجين الكلى: الكبريت الكلى أيضا لتقدير حالة كبريت النبات، ولكن النسبة فى حد ذاتها لا توضح عما اذا كان النتروجين عالياً أو منخفضاً، أو عما إذا كان الكبريت عالياً أو منخفضاً.

وفى طريقة DRIS، عملت مقارنات عديدة بين نسب العناصر مقابل القيم العادية المتفق عليها. وهناك ثلاث مزايا لاستخدام طريقة DRIS وهى: (١) التحليل مستقل عن عمر ونسيج النبات، (٢) العناصر يتم ترتيبها فى نظام الأكثر تحديداً (أكثر أهمية) إلى الأقل تحديداً، (٣) اتزان العنصر مضغوط أو منكمش. وتعتبر طريقة DRIS مفهوماً جيداً لتشخيص حالة النبات، والمعلومات المستقاة من هذه الطريقة يمكن أن تقوّم حالة معظم العناصر الغذائية الكبرى والصغرى. ويمكن الحصول على مناقشات أوسع عن نظم DRIS فى:

Walworth and Summer (1987), Westerman (1990), and Jones et al. (1991).

وإن معدلات معدنة الكبريت ليست متناسبة مع كمية الكبريت فى المادة العضوية، وذلك بسبب تنوع المركبات العضوية المحتوية على كبريت فى الأراضى والتى يمكن أن يكون لها معدلات تحلل مختلفة، ونوع البقايا النباتية والحيوانية التى يمكن أن تؤثر فى معدلات وانطلاق عمليتى المعدنة والتثبيت فى صورة عضوية، وتكوين رواسب محتوية على كبريت (مثل كبريتات الكالسيوم، وكبريتات الألومنيوم) التى يمكن أن تؤثر فى كمية الكبريت الميسر للنبات. وان نسبة الكربون إلى الكبريت لهذه المواد فى غاية الأهمية، فتحدث المعدنة عندما تكون نسبة الكربون: الكبريت أقل من ٢٠٠ : ١، بينما يحدث عامة التثبيت فى صورة عضوية عندما تكون النسبة أكبر من ٤٠٠ : ١، وتنتج حالة الثبات عندما تكون النسبة أكبر من ٢٠٠ وأصغر من ٤٠٠ : ١.

٦ - ٥ الإدارة البيئية للكبريت :

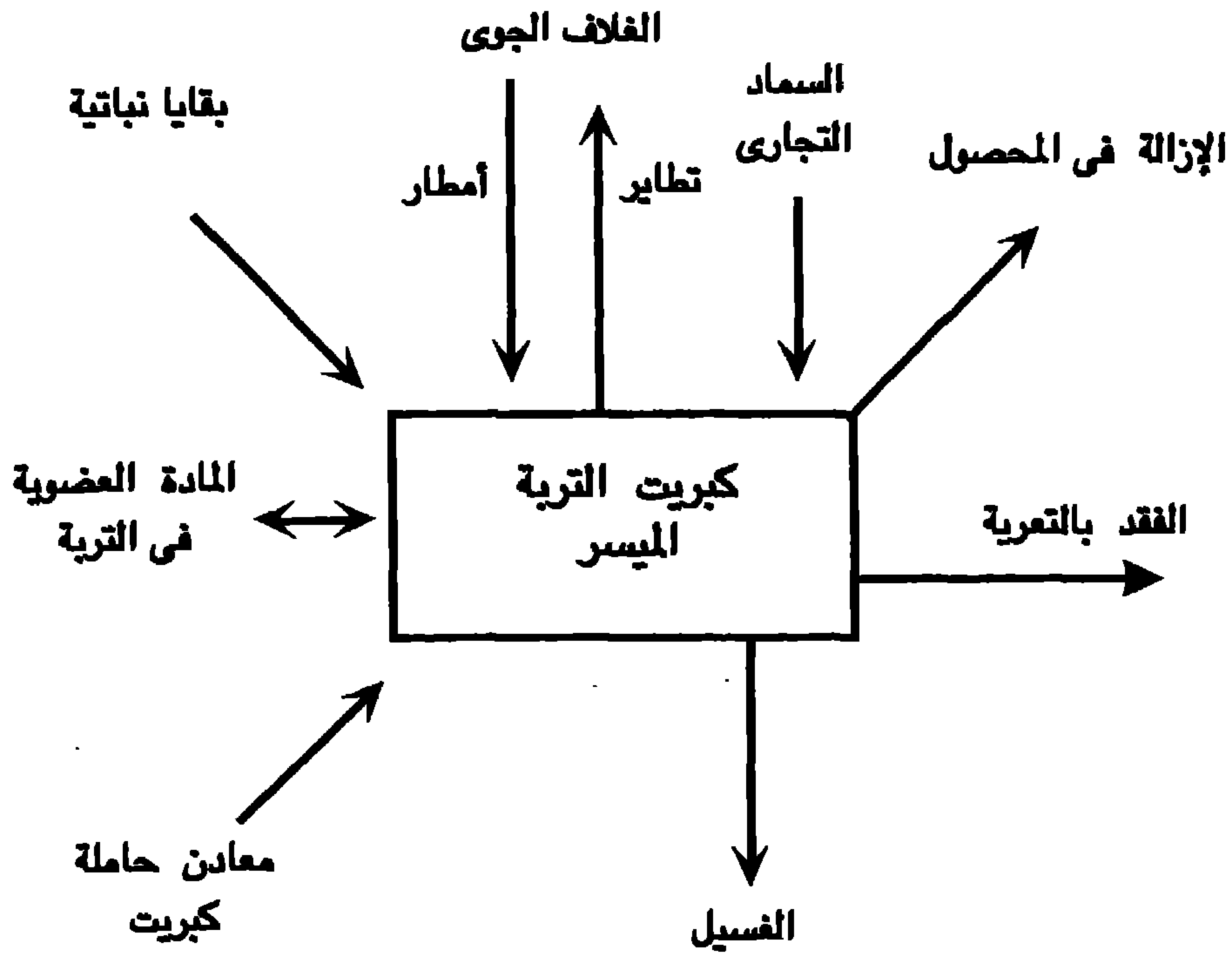
لإدارة الكبريت إدارة سليمة – يجب على المرء – أولاً – أن يفهم دوره فى البيئة ؛ فنحن نعرف – فيما يخص اهتمامنا بالكبريت فى البيئة – أن الترسيب (المطر) الحامضى، وصرف المناجم الحامضى يمثلان أكبر مشكلتين مرعبتين يجب مواجهتهما. ثانيًا، الكبريت عنصر غذائى ضرورى للنبات، ويلاقى اهتمامًا أكبر وأكبر فيما يخص اختزال المواد المحتوية كبريت (مثل: الأسمدة المنخفضة فى الكبريت، استخدام مبيدات ليس فيها كبريت، مدخلات الكبريت المنخفضة من الهواء الجوى) التى تضاف إلى الأراضى الزراعية. ثالثًا، تعتبر بيوجيو كيمياء الكبريت جزءًا واحدًا فقط من دورة البيوجيو كيمياء العمومية التى تشمل عناصر كثيرة. ولا توجد خطة إدارة شاملة (على مستوى العالم) يمكن تصميمها للكبريت ؛ لأن كل حالة تتطلب فحصًا دقيقًا عن الدور الذى يلعبه الكبريت فى المسائل الاقتصادية والبيئية. وعلى سبيل المثال، لو أخذنا فى الاعتبار حالتنا الحالية للأمور المتعلقة بالمطر الحامضى وانتشاره وشهرته الهائلة، فمن غير المدهش أن أى مشكلة ترتبط بشدة بالمطر الحامضى سوف تبرر أى فعل حكومى تجاهها. ومن هنا، فإن القوانين الحديثة مثل قانون الهواء النظيف عام ١٩٩١ أعدّت

تشريعات تنادى بصفة خاصة بتخفيض كمية الكبريت التى يمكن أن تنطلق فى الهواء الجوى. وبالرغم أن المطر الحامضى ثبت أنه ضار بصفة خاصة داخل المناطق المحيطة بمصدر انبعاث الكبريت، فإن الكبريت فى الهواء الجوى الذى يوفر الكبريت للمحاصيل له فائدة واضحة.

٦ - ٥ - ١ إدارة الكبريت فى الزراعة :

يجب أن تتم إدارة الكبريت بغرض تحقيق اتزان سليم بين نقصه وزيادته، كما هو الحال مع النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والعناصر الغذائية الدقيقة. ويجب أن يوفر برنامج الإدارة كميات كافية من جميع العناصر الغذائية لكى يمكن الحصول على محصول اقتصادى، بينما فى الوقت نفسه يعطى الاعتبارات المستحقة للتأثيرات البيئية الخطيرة. وعلى عكس النتروجين والفوسفور، فإن دور الزراعة فى الحالات التى يتم فيها تحديد التلوث بالكبريت يكون فى الغالب فى أدنى حد. وعلى ذلك، فإن إدارة الكبريت فى الزراعة مهمة للغاية فى توفير كميات من الكبريت كافية لإنتاج المحاصيل، أكثر من تأثيرها على البيئة.

ويعتمد توفير الكبريت للأغراض الزراعية على خواص الكبريت والعوامل التى تحكم درجة تيسره. ويصف شكل ٦ - ٧ مدخلات الكبريت المختلفة ومخرجاته، وهما بصفة عامة جزء من عملية الإنتاج الزراعى. فمدخلات الكبريت - مثل بقايا المحاصيل والأسمدة الحيوانية، والكبريت فى ماء المطر الساقط، والأسمدة المعدنية، والتجوية المعدنية، ومعدنة المادة العضوية - تسهم فى تشجيع إمداد التربة بالكبريت. أما مخرجات الكبريت أو فقده فتشمل التثبيت فى صورة عضوية، والتطاير، والإزالة مع المحصول، والغسيل، والانجراف. وإن منع الانجراف، وإعادة بقايا المحصول، وإضافة مصادر أخرى للكبريت (حمأة المجارى، الأسمدة العضوية الصناعية «الكمبوست») تزيد من كمية الكبريت فى الأراضى، بالإضافة إلى توفير عناصر غذائية أخرى ضرورية للنبات.



شكل ٦ – ٧ أمثلة لمدخلات ومخرجات الكبريت فى نظام بيئى زراعى.

وكتقدير تقريبى، حوالى ١ – ٣٪ من المادة العضوية فى التربة تتمعدن فى كل فصل نمو. وتعتمد كمية الكبريتات المنطلقة فى عمليات المعدنة على طبيعة المادة العضوية وعلى التمثيل الميكروبى. وعلى ذلك، فإن التنبؤ باحتياجات الكبريت صعب؛ طالما أن معظم الكبريت فى الأراضى يوجد فى صور عضوية والتى يجب أن تجتاز عملية المعدنة حتى يمكن للكبريت أن ينطلق. وتشمل العوامل التى تؤثر فى كمية الكبريت الميسر للنبات درجة الحرارة، ورقم الحموضة، والرطوبة، وتؤثر جميعها مباشرة فى نمو ونشاط الكائنات الدقيقة. وفى حالة استخدام المحصول كمية كبريت أقل من كمية الكبريت المتمعدنة، فإن محصلة الانطلاق السنوى للعناصر الغذائية التى تزيد عن احتياجات النبات يمكن أن تؤدى إلى فقد كبير للكبريت ونقص للكبريت الميسر

للمحاصيل فى المستقبل. وبناء على ذلك، من المهم أن تستخدم ممارسات الإدارة التى تتزن مع الاحتياجات المطلوبة من الكبريت.

وهناك أنواع كثيرة من أسمدة الكبريت، العديد منها يحتوى عناصر غذائية أخرى ضرورية للنبات. وتشمل الأمثلة الكبريت المعدنى، وكبريتات البوتاسيوم، ثيوكبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2 S_2O_3$، الجبس $CaSO_4 . 2H_2O$، كبريتات المغنسيوم $Mg SO_4 . 7 H_2O$. وينبغى أن يتم اختيار وتفضيل سماد كبريت على الآخر على أساس التكلفة عند مقارنة الأسمدة على أساس مكافئ كبريت فى صورة كبريتات. والعوامل التى تؤخذ فى الاعتبار فى برنامج إدارة الكبريت يجب أن تشمل: نوع سماد الكبريت، وتوقيت الإضافة، وطريقة الإضافة، والمكان المناسب للإضافة، وسوف تحدّد الخواص الفيزيائية والكيميائية للسماد والتربة أفضل طريقة وأنسب توقيت للإضافة. ويمكن أيضا أن تستخدم حمأة المجارى أو السماد الحيوانى كمصدر للكبريت وقد تراوحت نسبة الكبريت (على أساس الوزن الجاف) لحمأة المجارى من أكثر من ٢٠٠ بلدية فى ثمان ولايات أمريكية من منخفضة ٦ر. ٪ إلى عالية ٥ ر١٪ بمتوسط قدره ١ر١٪.

ويمكن استخدام معايير عديدة لتقدير المنافع الاقتصادية الناتجة عن استخدام السماد المحتوى كبريت. وبعض هذه المعايير يشمل: أفضل معدل اقتصادى للسماد الكبريتى، وأدنى معدل للسماد الكبريتى، ومعدل سماد الكبريت اللازم لتعظيم عائد الاستثمار، وأدنى تكلفة لكل وحدة محصول، خصم عوائد المستقبل. وتعتمد جميع هذه المعايير – ماعدا المعيار الأخير – على ظروف السنة الحالية مثل تكلفة سماد الكبريت، والمصاريف الإضافية، والمحصول المتوقع، والعائد المنتظر من الاستثمار. ويعتمد الخصم من أجل العوائد فى المستقبل على الفوائد الإضافية الراجعة إلى التأثيرات المتبقية. وهذه المتبقيات قد تشمل: الاحتفاظ بالكبريت إلى موسم آخر، أو معدنة العناصر الأخرى، أو منع نقص الكبريت فى المحاصيل المعمرة. وفى برنامج إدارة الكبريت على المدى الطويل، فإن الاستراتيجية الأخيرة قد تكون الأكثر فائدة، وبالرغم من ذلك ؛ فعلى المدى القصير، فإن المعايير الاقتصادية الأخرى قد تؤدى إلى زيادة هامش الربح.

٦ – ٥ – ٢ استصلاح الأراضى الحامضية وأراضى المناجم التالفة:

عندما تتعرض المادة المحتوية مركبات كبريت مختزلة للأوكسجين، تنتج تركيزات عالية من حامض الكبرتيك وتتكون أراضى حامضية. وفيما يلى مثالان يحدث ذلك فيهما : (١) صرف السهول الساحلية أو رواسب مستنقعات المد والجزر المحتوية بيريت، (٢) تعرض المواد المدفونة للهواء الجوى خلال أنشطة التعدين السطحى. ويتطلب استصلاح هذه المناطق معادلة كلٍ من الحموضة النشطة والحموضة الاحتياطية التى تنتج عندما يحدث تأكسد للكبريت المختزل. وإن معادلة الحموضة الاحتياطية جزء مُهم فى برنامج الاستصلاح لأنه مع مرور الزمن سوف تتأكسد معادن الكبريت المختزلة وتسهم فى الحموضة النشطة للتربة. وفى معظم الحالات، فإن الحموضة الاحتياطية قد تتطلب جهود استصلاح أكبر من معادلة الحموضة النشطة. والأراضى الحامضية التى تحتوى على كبريتات، يشار إليها فى المعتاد على أنها: «طين السنور» "Cat Clays"، وتنشأ فى السهول الساحلية المعرضة للانغمار بمياه الفيضان ؛ حيث يتم صرف هذه المياه، وتقع بصفة رئيسية فى المناطق المعتدلة والاستوائية. وبعد حدوث صرف لهذه الأراضى، تتأكسد مركبات الكبريت المختزلة لتنتج حامض كبرتيك، الذى بالتالى يذيب المادة المعدنية الموجودة فيها. وتحتوى كل من أراضى الكبريتات الحامضية ومستنقعات المناجم التالفة على كميات كبيرة من البيريت ($Fe\ S_2$) الذى بتأكسده يخفض مستويات pH التربة إلى أقل من ٢ (انظر معادلة ٦ – ٦).

وعندما تذوب معادن السليكات تحدث معادلة بعض الحموضة الناتجة خلال أكسدة مركبات الكبريت المختزلة. وبالرغم من ذلك، فخلال هذه العملية قد تنتج مستويات عالية لعناصر سامة خطيرة مثل Zn , Ni , Mn , Fe , Cu , Al وغيرها. وقد يحدث مع بعض الزراعات نقص للعناصر الغذائية الصغرى التى تشمل الموليبدنم والبورون بسبب انخفاض ذوبان هذه العناصر فى الأراضى الحامضية. ويتطلب استصلاح الأراضى الحامضية ومستنقعات أراضى المناجم التالفة إضافة مواد الجير لكى تعادل الحموضة، بالإضافة إلى الاهتمام بالمحاصيل المقاومة للحموضة. ويجب أن

تجرى اختبارات التربة كل ١ - ٢ سنة، ونوصى باستخدام مواد جير مطحونة طحناً دقيقاً لتحقيق تعادل أسرع للحموضة. ويمكن لجهود الاستصلاح أن تُحوِّل الأراضى غير المنتجة إلى أراضى مفيدة صالحة لإنتاج المحاصيل أو للاستخدام كمراعى أو حدائق أو غابات، بالإضافة إلى تخفيف احتمال التلوث البيئى من هذا المصدر.

٦ - ٥ - ٣ استصلاح الأراضى الصودية :

أراضى المناطق الجافة ونصف الجافة فى العالم يمكن أن يتراكم فيها كميات كبيرة من الأملاح. ومع ذلك، ففى الأراضى الصودية نسبة صوديوم متبادل (ESP) تبلغ ١٥٪ أو أكثر وتركيزات أملاح ذائبة أقل من ٤ ملليموه /سم (ds/m)، وينتج عن ذلك تأثرها الكبير جدا بواسطة أيونات الصوديوم. وتحت هذه الظروف، يتفرق الطين مُسبباً نقصا فى قطر مسام التربة، وتدمير البناء الأرضى، ونقص نفاذية ماء التربة. وبالإضافة إلى التأثير الرئيسى للصوديوم على خواص التربة الفيزيائية، فيمكن للصوديوم أيضًا أن يكون سامًا لنباتات معينة عندما تكون تركيزات الكاتيونات الأخرى منخفضة.

وقد يكون استصلاح الأراضى الصودية مكلفا؛ خاصة عندما تصل الظروف إلى النقطة التى عندها تصبح رشح ونفاذية المياه بطيئة جدا. ويجب إحلال الصوديوم المتبادل بكاتيونات أخرى، ويفضل الكالسيوم، الذى هو ثنائى التكافؤ ويحل محل الصوديوم بسرعة. والجبس ($CaSO_4$) سريع الذوبان، وفور ذوبانه يمكنه أن يوفر الكالسيوم الضرورى اللازم لكى يحل محل الصوديوم. وقد يلزم إضافة عدة أطنان من الجبس للهكتار لكى توفر كالسيوم كاف. وكمية الجبس اللازمة (GR) للاستصلاح يمكن حسابها تقريبا من نسبة الصوديوم المتبادل (ESP)، والسعة التبادلية الكاتيونية(CEC) للتربة الصودية. مثلا، أرض متأثرة بالصوديوم ESP لها ٢٥٪، CEC لها ٢٠ سنتيمول / كجم تربة، والهدف هو تخفيض ESP إلى ٥٪، فتكون الاحتياجات الجبسية (GR) كما يلى:

الاحتياجات الجبسية بالطن مترى/ هكتار لعمق ٣٠ سم

$$= ٥ ر٤ \times Na_x \quad .... \quad (٦ - ٨)$$

حيث:

Na_X. يمثل كمية الصوديوم المطلوب إحلالها ملليمكافئ / ١٠٠جم تربة أوبالسنتيمول / كجم تربة (وفى حالة التربة المذكورة = ٢٠٪ من ٢٠ سنتيمول / كجم = ٤ سنتيمول / كجم).

وعلى ذلك، فإن كمية كلية من الجبس تساوى ١٨ طن مترى/ هكتار مطلوبة لإحلال ٤ سنتيمول صوديوم لكل كيلو جرام. ومن أجل تحقيق أفضل نتائج يجب دمج أوخلط الجبس مع سطح التربة أو تحت السطح. ويجب أيضا إضافة كميات مياه كافية لغسيل الصوديوم الذى تم إحلاله بواسطة أيونات الكالسيوم.

المراجع :

Brady, N. C., The Nature and Properties of Soils, Macmillan, New York, 1974.

Freney, J. R., Forms and reactions of organic sulfur compounds in soils, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 207.

Goodrich, R. D. and Garrett, J. E., Sulfur in livestock nutrition, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 617.

Jones, J. B., Jr., Wolf, B., and Mills, H. A., plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide, Micro - Macro Publishing, Athens, GA, 1991.

Krupa, S. V. and Tabatabai, M. A., Measurement of sulfur in the atmosphere and in natural waters, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 251.

Landers, D. H., David, M. B., and Mitchell, M. J., Analysis of organic and inorganic sulfur constituents in sediments, soils and water, Intern. J. Environ. Anal. Chem., 14, 245, 1983.

Mitchell, M. J., David, M. B., and Harrison, R. B., Sulphur dynamics of forest ecosystems, in Sulfur Cycling in Terrestrial Systems and Wetlands, Howarth, R. W., and Stewart, J. W. B., Eds., John Wiley & Sons, New York, 1992.

Stevenson, F. J., The sulfur cycle, Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients, John Wiley & Sons, New york, 1986, chap. 8, 285.

Thompson, J. F., Smith, I. K., and Madison, J. T., Sulfur metabolism in Plants, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 57.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., and Beaton, J. D. Soil Fertility and Fertilizers, Macmillan, New York, 1985.

Trudinger, P. A., Chemistry of the sulfur cycle, in Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Number 27, Tabatabai, M. A., Ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986, 1.

Walworth, J. L. and Sumner, M. E., The diagnosis and recommendation intergrated system, Adv. Agron., 194, 1987.

Westerman, R. L., Ed., Soil Testing and Plant Analysis, SSSA Book series number 3, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990.

Williams, C. H., The chermical nature of sulphur in some New South Wales soils, in Handbook of Sulphur in Australian Agriculture, McLachlan, K. D., Ed., CSIRO, Melbourne, Australia, 1974, 66.

مراجع مساعدة:

Brimblecombe, P. and Lein, A. Y., Eds., Evolution of the Glabal Biogeochemical Sulphur Cycle, John Wiley & Sons, New York, 1989.

Paul, E. A. and Clark, F. E., Soil Microbiology and Biochemistry, Academic Press, San Diego, 1989.

Schlesinger, W. H., Biogeochemistry: An Analysis of Global Change, Academic Press, New York, 1991.

Tabatabai, M. A., Ed., Sulfur in Agriculture, Agronomy Monograph Series No. 27, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1986.

الفصل السابع

العناصر النادرة

٧ - ١ مقدمة:

العناصر النادرة هى العناصر الموجودة عادة بتركيزات منخفضة نسبيا فى الأراضى والنباتات. وقد تكون أوْ لا تكون ضرورية لنمو وتطور النباتات، أو الحيوانات، أو الإنسان. والعناصر الغذائية الصغرى والمعادن الثقيلة مصطلحان يستخدمان فى بعض الأحيان لوصف أصناف أو فئات من العناصر النادرة. واستخدام مصطلح «العناصر الغذائية الصغرى» يتم تجنبه وتلافيه هنا ؛ لأنه مصطلح يشير إلى أن العناصر محل السؤال ضرورية لنمو وتطور بعض الكائنات، وكثير من العناصر النادرة ليست هكذا. ولقد تمّ تجنب استخدام المعادن الثقيلة لأن هذا المصطلح بصفة عامة - يشير فقط إلى العناصر الفلزية التى لها وزن ذرى أكبر من الوزن الذرى للحديد (٨ ر٥٥ جرام/ مول)، أو إلى عناصر لها كثافة أكبر من ٠ ر٥جم/سم٣، وهذا يستبعد أيضا بعض العناصر النادرة. ولقد استعملت مصطلحات أخرى لتصف العناصر النادرة وتشمل: المعادن النادرة، والعناصر الصغرى أو الدقيقة، والعناصر الثانوية، أو غير العضوية النادرة. لاحظ أن بعض العناصر توجد بشكل نموذجى عند تركيزات عالية فى الأراضى أو قشرة الكرة الأرضية، ولكنها تعتبر عناصر نادرة بسبب وجودها بتركيزات منخفضة فى النباتات. ويعتبر التيتانيوم، والحديد، والألومنيوم نماذج ثلاثة لتلك العناصر النادرة.

وبهذا التعريف الواسع، تشمل العناصر النادرة بوضوح عدداً كبيراً من العناصر واسعة الاختلاف فى خواصها الكيميائية. ويمثل شكل ٧ - ١ الجدول الدورى للعناصر، ويشمل العناصر التى لا تعتبر نادرة، وهى العناصر المظللة. وتوجد العناصر

Ia	IIa	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIII	VIII	VIII	Ib	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	O
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 * La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 ** Ac	104 Rf	105 Ha													

* lanthanide series	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** actinide series	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

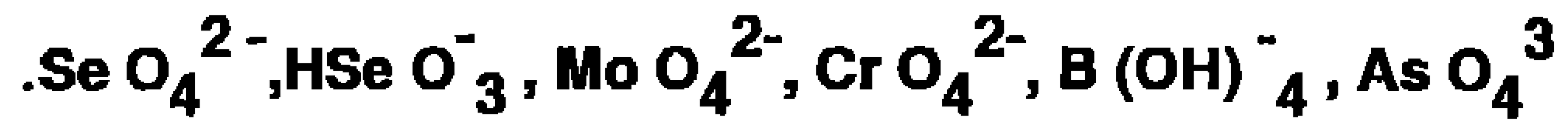
شكل ٧ – ١ الجدول الدورى للعناصر. العناصر المظللة لاتعتبر عناصر نادرة.

المظللة هذه بتركيزات عالية نسبيا فى النباتات والأراضى، وعلى ذلك لا تطابق تعريف العناصر النادرة، وتوجد فقط فى صورة نظائر مشعة تتحلل إلى عناصر جديدة، لاتوجد طبيعيا فى البيئة، أو هى موجودة فقط فى الغازات الخاملة. والطريقة البسيطة لاختزال أو لتقليل عدد العناصر محل الدراسة هو تحديد المناقشة على تلك العناصر محل الاهتمام ؛ لأنها إما أن تكون عناصر ضرورية أوْ تكون سامّة فى الحال للإنسان، والحيوان أو النبات. وبهذا المنهج ينبغى أن نهتم بالعناصر التالية: Zn , V , Sn , Se , Pb , Ni , Mo , Mn , I , Hg , Fe , F , Cu , Cr , Co , Cd , B , As. وينبغى أن ندرك أن وصف سلوك جميع هذه العناصر فى الأراضى غير ممكن هنا، بالرغم أن بعضها سوف يستخدم كأمثلة للقواعد العامة.

ويمكن تقسيم العناصر النادرة فى الأراضى إلى ثلاث فئات واسعة اعتماداً على صورتها الكيميائية المتوقعة فى المحاليل الأرضية.

(١) **فلزات كاتيونية** : وهى عناصر فلزية، الصورة السائدة لها فى المحلول الأرضى كاتيون. ومن أمثلتها Ag^{+}, Cd^{2+}, Co^{2+} Cr^{3+}, Cu^{2+}, Hg^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}.

(٢) **الأنيونات الأوكسجينية** : وهى عبارة عن عناصر ترتبط بالأوكسجين فى جزئيات محصلة الشحنة الكلية لها سالبة، ومن أمثلتها:



$As O_4^{3}$, $B (OH)_4^{-}$, $Cr O_4^{2-}$, $Mo O_4^{2-}$, $HSe O_3^{-}$, $Se O_4^{2-}$.

(٣) **الهالوجينات** : وهى أعضاء المجموعة السابعة (أ) فى الجدول الدورى للعناصر، وتوجد فى صورة أنيونات فى المحلول الأرضى، وهى: F^{-}, Cl^{-}, I^{-}.

ومع ذلك، فإن هذه الفئات ليست فريدة، لأن بعض العناصر يمكن أن توجد فى أكثر من فئة.

والسؤال الذى يشيع ترديده هو: ماهى التركيزات النموذجية للعناصر النادرة التى توجد فى الأراضى؟ وعادة يكون هذاالسؤال بخصوص مشكلة التلوث المحتملة، ومن أى فرد يريد أن يعرف عما إذا كانت النتائج المتحصل عليها من تحليل التربة تعكس حالة ملوثة أم لا ؟ ولسوء الحظ، لا توجد إجابة واضحة المعالم لهذا السؤال بسبب أن التغير الطبيعى فى تركيزات العناصر النادرة فى التربة كبير إلى حد بعيد. ويعرض جدول ٧ – ١ بعض تركيزات التربة العادية لبعض العناصر النادرة المختارة، بالإضافة إلى بعض التركيزات الشاذة جيو كيميائيا. فالتربة التى تحتوى على تركيز كلى للرصاص يبلغ ٦٠٠ مجم/ كجم، على سبيل المثال، تمثل حالة تكون فيها التربة ملوثة بالرصاص، أو أن تركيز الرصاص فيها شاذ جيوكيميائيا. والأمر يتطلب ملعومات إضافية لعمل التقديرات الصحيحة.

إن استخدامات العناصر النادرة عديدة، وأهمها مايقع فى مجال المكمّلات الغذائية للإنسان والماشية والدواجن، إذ أن بعض العناصر النادرة هنا هى عناصر ضرورية. وعادة تحتوى المبيدات على رصاص وزرنيخ؛ ويستخدم الرصاص فى

الجازولين، والدهانات، وأجهزة اللحام، غير أن استخدامها مستمر فى التناقص بسرعة. وينتشر استخدام الزنك فى صناعة منتجات الكاوتشوك (المطاط) وفى جلفنة الفلزات. ويستخدم الكروميوم فى طلاء مكونات السيارات وفى صناعة الصلب.

ومع هذه الاستخدامات المتنوعة للعناصر النادرة، توجد بالمثل وسائل متنوعة لتلوث الأراضى. ومن الناحية التاريخية، فإن تعدين وصهر (سبك) العناصر النادرة ذاتها قد خلق مشاكل تلوث للتربة بالعناصر النادرة، وهى مشاكل فى غاية الخطورة. ويمثل شكل ٧ – ٢ منظراً فى شمال شرق ولاية أوكلاهوما يوضح بعض المشاكل البيئية الموجودة فى المنطقة التى بها موقع لتعدين الرصاص والزنك. والمادة فى الخلفية

جدول ٧ – ١ تركيزات بعض العناصر النادرة فى الأراضى عند المستويات العادية والمستويات الشاذة جيوكيميائيا.

العنصر	المدى «العادى» (مجم / كجم)	المدى الغنى بالعنصر (مجم/ كجم)
زرنيخ	< ٥ – ٤٠	يصل إلى ٢٥٠٠
كدميوم	< ١ – ٢	يصل إلى ٣٠
نحاس	٢ – ٦٠	يصل إلى ٢٠٠٠
موليبدنم	< ١ – ٥	١٠ —— ١٠٠
نيكل	٢ – ١٠٠	يصل إلى ٨٠٠٠
رصاص	١٠ – ١٥٠	١٠٠٠٠ أو أكثر
سلينيوم	< ١ – ٢	يصل إلى ٥٠٠
زنك	٢٥ – ٢٠٠	١٠٠٠٠ أو أكثر

(Bowie and thomton , 1985.)

عبارة عن أكوام من فضلات الصخور تحتوى على تركيزات زنك ورصاص عالية تصل إلى ٢٪. وتنجرف الحبيبات الناعمة بعيدا عن أكوام (ركام) الصخور المهملة، فتلوث الأراضى المجاورة وتصبح رواسب فى المياه السطحية، وتزداد تدريجياً وبدرجة كبيرة المساحة المتأثرة بنشاط التعدين الأصلى. وبالإضافة إلى ذلك، تعتبر أكوام الصخور هذه مصدراً للتراب الذى يُعرّض الناس للرصاص عبر منطقة واسعة. وتنتج أنشطة التعدين هذه ملوثات أولية تتكون من فضلات الصخور، ونفايات خامات المعادن، والحمأة. ويحدث تلوث ثانوى للمياه الجوفية تحت الحفر المفتوحة والبرك، والرواسب فى مجارى الأنهار وخزانات المياه، وأراضى سهول الفيضان المتأثرة بالرواسب الملوثة، والأراضى المتأثرة بانبعاثات المسابك. كما أن هناك ملوثاتٍ من نوع ثالث وهى رواسب النهر المتجددة من سهول الفيضان والمياه الجوفية من رواسب خزانات المياه الملوثة.



شكل ٧ – ٢ صورة موقع مهجور لتعدين الرصاص والزنك فى شمال شرق أوكلاهوما.

ويؤدى نشاط التعدين واستخدام مواد أخرى، مثل الفحم الحجرى أو النباتى فى الغالب إلى تلوث التربة أيضا بالعناصر النادرة. ومحطات معالجة مياه الصرف الصحى للبلديات التى تعالج المدخلات (المخلفات) المنزلية والصناعية، والتى تستخدم الإضافة للأراضى كاختيار للتخلص من الحمأة، قد تساهم فى إغناء الأراضى بالعناصر النادرة، كما ينبعث الكادميوم مع عوادم المركبات من الوقود الديزل، والزنك والكادميوم من التآكل الناشئ عن احتكاك الإطارات، وينبعث النيكل، Mo , W , V , Cr من احتكاك الحديد والصلب، والرصاص من الجازولين (عند معدل منخفض جدا فى الولايات المتحدة). وتعتبر بقايا وقود الفحم الحجرى أيضًا مصدراً للعناصر النادرة، وكذلك بعض الرشاشات الزراعية ومحسنات التربة. وتتغذى الخنازير على النحاس كمكمّل غذائى، وتنتج سماداً غنياً بالنحاس يمكن أن يضاف إلى الأراضى الزراعية. والمناطق الزراعية ترتفع فى أراضيها تركيزات العناصر النادرة بسبب قربها من مصادر العناصر النادرة. ويبين شكل ٧ – ٣ النقص التدريجى فى تركيزات النحاس، والنيكل، والرصاص فى أرض الغابة وفى عينات تربة على مسافات من مركز مدينة نيويورك، موضحا النقص فى تركيزات العناصر النادرة مع المسافة من المصدر العمومى.

٧ – ٢ التأثيرات العكسية :

من الصعب أن نلخص جميع التأثيرات العكسية من العناصر النادرة بسبب العدد الكبير لهذه العناصر، ولأن كل عنصر يمكن أن يسبب عدداً من المشاكل المختلفة. وبصفة عامة، فهذه الاهتمامات تشمل: صحة الإنسان، وصحة الحيوان، وسمية النباتات، وتأثيراتها على النظم البيئية المائية. والحقيقة التى تعنى أن تلوث الأراضى بالعناصر النادرة دائم فى جميع الحالات، هى حقيقة بالغة الأهمية ؛ فالإنسان لا يستطيع بسهولة إزالة معظم العناصر النادرة من التربة بمجرد إضافتها ، وسنذكر فيما بعد بعض الأمثلة التى تمد القارئ بتقويم لأنواع المشاكل ذات الأهمية.

٧ - ٢ - ١ صحة الإنسان :

يتعرض الإنسان للعناصر النادرة فى التربة من خلال تحولات سلسلة الغذاء وعن طريق التناول والابتلاع المباشر لحبيبات التربة (شكل ٣ - ١). والحالات الموثقة للسمية الشديدة للعناصر النادرة فى الإنسان التى سببها ارتفاع تركيزات العناصر النادرة فى الأراضى نادرة أوغير موجودة. وهناك مثال شائع يتعلق بالمزارعين اليابانيين ؛ إذ إنهم يقاسون من سمية الكادميوم بعد استهلاكهم على المدى الطويل الأرز المغذى بالكادميوم. ويوجد دليلان لسمية الكاديوم هما الفشل الكلوى ومرض إيتاى - إيتاى Itai - Itai. وكلمة «إيتاى» يابانية، وتعنى «أوتش» "ouch" ؛ وهى صوت يعبر عن الألم أو العطس المفاجئ، والمرض يتسم بفقد العظم للكادميوم، والذى يؤدى إلى حدوث ألم موضعى شديد لدى ضحاياه. ويتم إنماء الأرز فى الحقول الملوثة بالرصاص والزنك الناتج عن أنشطة التعدين والسبك «الانصهار». وهناك ارتباط جيوكيميائى بين الزنك والكادميوم، وعلى ذلك فالأراضى الملوثة بالزنك تعتبر فى الغالب ملوثة بالكادميوم أيضًا. ويبين جدول ٧ - ٢ أن الأرز النامى فى المناطق التى فيها نسبة انتشار المرض أكبر من ١٠٪ كانت تركيزات الكادميوم فيه أكبر بكثير وبلغت ١٤ مرة أعلى من الأرز النامى فى مناطق غير ملوثة.

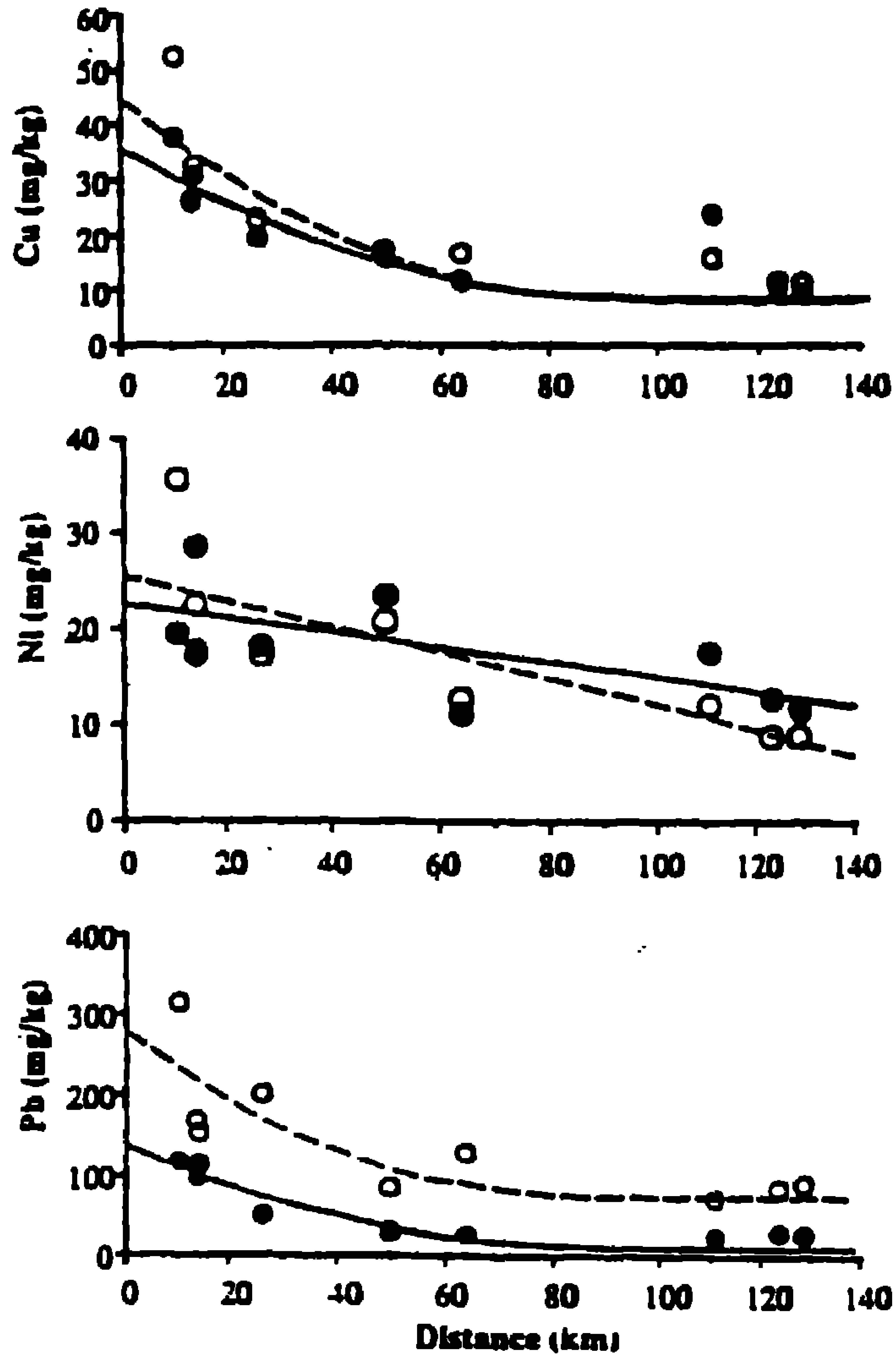
وقد بدأت الجهود لتخفيض أو إزالة الرصاص والجازولين فى الدهانات بسبب المنع غير المباشر لإنتاج الهيماتين (صبغة تنشأ عن انحلال الهيموجلوبين فى الدم) فى الإنسان بواسطة الرصاص. ويعتقد بعض المسؤولين فى مجال الصحة أن التعرض المستمر للرصاص يمكن أن يسبب ضعفاً ذهنياً، بصفة خاصة لدى الأطفال، وأن هذا التعرض يجب أن يقاوم بصرامة. ولقد أوضحت دراسات التغذية أن الأشخاص الذين يعيشون فى اتجاه الريح القادمة من مواقع المسابك القديمة للزنك والرصاص عند استهلاكهم بعضا من الخضروات النامية فى منازلهم، واللحوم، واللبن - يبتلعون على الأقل ٥٠٪ زيادة من الرصاص والكادميوم مقارنة بالغذاء الذى تم شراؤه من منطقة الكنترول، كما أن الدرسات الحديثة عن تأثيرات الرصاص على صحة الإنسان والتى توضح حدوث تأثيرات صحية معنوية عند جرعات الرصاص الأقل عما كان يعتقد

سابقا، قد أدت إلى زيادة الاهتمام بدرجة كبيرة بالأراضى الملوثة بالرصاص. وترفع المناطق الحضرية القديمة بدرجة كبيرة من تركيزات رصاص التربة الراجع مبدئيا إلى استخدام دهانات منزلية تحتوى على رصاص. كما أن الأطفال معرضون للرصاص عندما يبتلعون مباشرة رقائق هذه الدهانات أو حبيبات التربة.

ومن أهم الاهتمامات الحديثة حاليا هو احتمال حدوث تأثيرات غير سريرية (يتعذر اكتشافها بالفحوص السريرية) سببها التعرض لكميات زائدة بدرجة بسيطة من العناصر النادرة. وتعنى التأثيرات دون السريرية تعذر تشخيص المرض أو أعراضه بالفحوص الطبية المألوفة، على سبيل المثال، اضطراب نقص الانتباه والنشاط الزائد فى الأطفال ؛ لذلك فإن دراسات الأمراض الوبائية مطلوبة لكى نتحرى أو نكتشف الاتجاهات المعنوية. وإن عدد الناس المتأثرين بالعناصر النادرة السامة فى العالم مدهش تماما، كما هو موضح فى جدول ٧ - ٢. وأيضا لاحظ أن الأراضى هى المُستقبل الرئيسى للانبعاثات العالمية للعناصر النادرة.

٧ - ٢ - ٢ صحة الحيوان :

إن **سمية المولبيدنم** فى المواشى والدواجن **وسمية السلينيوم** فى المواشى والدواجن والحيوانات البرية مشكلتان تتعلقان بصحة الحيوان نتيجة التأثر بالعناصر النادرة، وهما منتشرتان نسبيًا. وتعتبر الحيوانات المجترة أكثر الحيوانات حساسية لمرض سمية المولبيدنم ؛ أو نقص النحاس الراجع لزيادة المولبيدنم، وتحتوى بعض الأراضى تركيزات عالية من المولبيدنم طبيعيا، وتنتج أعلافًا، وهى تُعجِّل ظهور أعراض سمية المولبيدنم فى حيوانات الرعى. ويمكن للأراضى أن تكون غنية بالمولبيدنم بطبيعتها، أوتصبح غنية به بسبب إضافات مياه رى رديئة الجودة أو حمأة مجارى غنية فى المولبيدنم. ومشاكل السلينيوم واسعة الانتشار بدرجة كبيرة. ويحدث بروز طبقات من الصخور الرسوبية السلينيحديدية فوق سطح الأرض فى بعض المناطق على مدار الولايات المتحدة، وبصفة خاصة فى المناطق الجافة ونصف الجافة، وقد تنتج الأراضى المصاحبة لهذه الصخور نباتات بتركيزات سلينيوم وبمستويات يُشتبه أن



شكل ٧ – ٣ تراكيزات المعادن الثقيلة فى أرض الغابة وفى الأراضى كدالة للمسافة من موقف السيارات المركزى ، ما نهاتان ، بمدينة نيويورك . الدوائر المفتوحة تمثل أرضية الغابة ، والدوائر المغلقة تمثل القيم الخاصة بالأراضى.

(Pouyat and McDonnell , 1991.)

جدول ٧ - ٢ تركيزات الكدميوم فى الأرز (مجم / كجم) فى مناطق انتشار مرض إيتاى - إيتاى.

نوع الأرز	المنطقة	
	نسبة انتشار المرض > ١٠٪	غير موبوءة
غير جلوتينى :		
مصقول	٥٢ر٠	٠٤٨ر٠
غير مصقول	٥٤ر٠	٠٧٩ر٠
جلوتينى :		
مصقول	٠٣ر١	٠٧١ر٠
غير مصقول	١٢ر١	١٥٠ر٠

(Tsuchiya , 1978.)

تكون ضارة للماشية والدواجن. وقد تؤدى أيضاً أنشطة تعدين الفحم الحجرى إلى بروز مواد سلينيحديدية (محتوية سلينيوم وحديد) إلى السطح. وتمثل محمية الأحياء البرية بمنطقة كيسترسون فى وسط كاليفورنيا - حالة أدت فيها الأنشطة الزراعية إلى التفشي الخطير لمرض التسمم بالسلينيوم للطيور البرية وخاصة البط البرى ، وقد نتج عن رى الأراضى الزراعية ماء صرف يحتوى على تركيز عالى للسلينيوم، وعندما انساب هذا الماء فى منطقة كيسترسون، تركز فيما بعد بالتبخير، وأدى إلى حدوث مشاكل واسعة الانتشار من سمية السلينيوم للأحياء المائية والطيور المائية.

٧ - ٢ - ٣ تسمم النباتات :

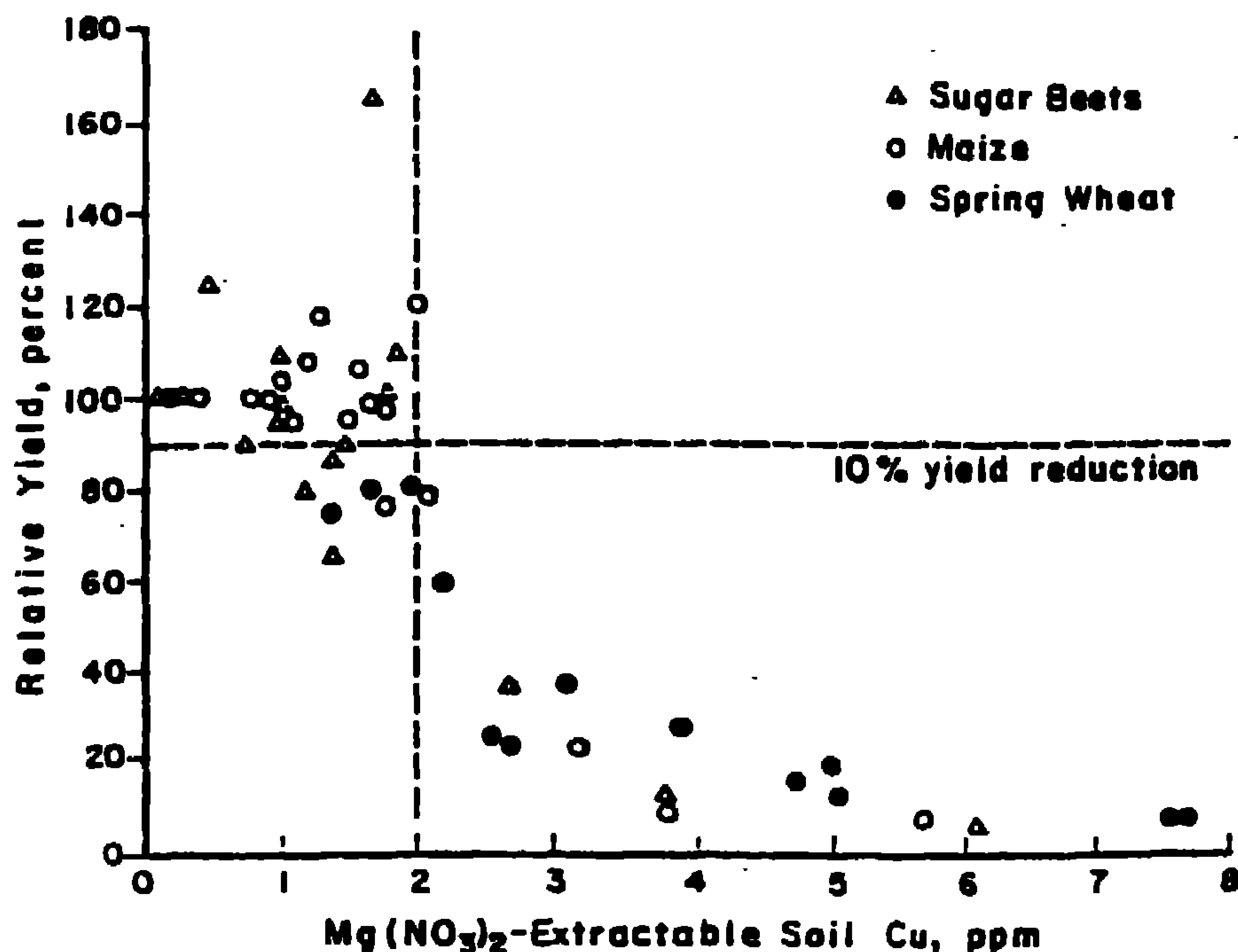
تعد مشكلات تسمم النباتات مهمة لسببين رئيسيين: الأول، إنها قد تؤدى إلى انخفاض إنتاج الأراضى الزراعية، ومثال على ذلك موضح فى شكل ٧ - ٤ ؛ حيث

ينقص المحصول النسبى لثلاث محاصيل كلما ازدادت تركيزات النحاس المستخلص من التربة بواسطة نترات الماغنسيوم. وعندما تزيد تركيزات النحاس المستخلصة عن القيم المحددة بالخط المتقطع الرأسى، يُنتظر أن ينخفض المحصول النسبى بمقدار أكبر من ١٠٪ وفى هذه الحالة، تستمر دراسة النحاس بسبب سمية النحاس للنباتات المحتملة من إضافات النحاس عن طريق أسمدة الخنزير. والأراضى المحسنة بهذا السماد لم تصل بعد، بصفة عامة، إلى الحد الحرج وهو ٢ ملليجرام نحاس لكل كيلو جرام. والسبب الثانى، أنه فى الحالات التى يكون فيها نمو النباتات ضئيلاً بسبب التسمم بالعناصر النادرة، فإن الانجراف بالرياح وبالمياه يمكن أن يحدث بمعدل سريع. وتوجد هذه الظروف غالبا حول المواقع التى يحدث فيها تعدين أو صهر للفلز (شكل ٧ – ٢). وعلاوة على ذلك، يسمح نقص الغطاء الخضرى بتشتت العناصر النادرة فى البيئة المحيطة، وتزداد خطورة المشكلة إلى حد كبير.

جدول ٧ – ٣ القيمة المقدرة لانتشار التسمم بالعناصر النادرة.

العنصر	الانبعاثات العالمية (١٠٠٠ طن مترى / سنة)			أعداد الناس المتأثرة	ملاحظات
	الهواء	المياه	الأراضى		
Pb	٣٣٢	١٣٨	٧٩٦	> بليون	Pb فى الدم > ٢٠٠ميكروجم/لتر.
Cd	٧٫٦	٩٫٤	٢٢	٥٠٠٠٠٠	ينتج عنه فشل كلوى .
Hg	٣٫٦	٤٫٦	٨٫٣	٨٠٠٠٠	تسمم مؤكد.
As	١٨٫٨	٤١	٨٢	>١٠٠٠٠٠	اضطراب الجلد ، As فى الماء >٢ ميكروجم / لتر .

(Nriagu , 1988.)



شكل ٧ – ٤ العلاقة بين النحاس المستخلص بواسطة نترات المغنسيوم والمحصول النسبى.
(Lexmond and deHaan , 1977.)

٧ – ٢ – ٤ البيئات المائية :

من الصعب جدا تقدير تأثيرات التركيزات المتزايدة للعناصر النادرة فى البيئات المائية، ويعزى ذلك فى جزء منه إلى حركة بعض الأصناف وإلى الصعوبة فى فصل تأثيرات المياه الملوثة عن الرواسب الملوثة. وانجراف التربة هو الوسيلة الأساسية التى عن طريقها تنتقل العناصر النادرة من الأراضى إلى البيئات المائية. ونسب الإغناء لمعظم العناصر النادرة أكبر من واحد أو تساويه. ويمكن تقسيم الأصناف المائية إلى مجاميع: النباتات (الطافية أو المعلقة ونباتات أعماق البحار أو المحيطات)، واللافقاريات، والأسماك. وتظهر تأثيرات العناصر النادرة عامة عن طريق النقص فى التنوع، والإنتاجية، وكثافة الكائنات المائية.

ويمكن لأى عنصر نادر أن يكون له تأثير عكسى على أى كائن عندما تكون الجرعة عالية بدرجة كافية. وتعرض بعض الكائنات لجرعات عالية من العناصر النادرة غير شائع، وعلى ذلك، لا يعتبر مشكلة بيئية. ويبين جدول ٧ – ٤ أصناف الكائنات الحية التى يحدث لها عادة خطر شديد بسبب التعرض لجرعات متزايدة من ١٣ عنصر نادر مهم. لاحظ، مثلا، أن الرصاص يهم الإنسان، والحيوان، والكائنات المائية، والطيور، ولكنه نادراً ماتظهر أعراض سميته على النباتات (فيما عدا فى حالات معينة عالية التلوث) مقارنة بالبورون الذى سميته للنباتات مهمة بصفة أساسية.

٧ – ٣ التيسر البيولوجى للعناصر النادرة فى الأراضي :

لقد انصب هدف هذا الفصل على التركيز الزائد للعناصر النادرة فى الأراضى. وبالنسبة لمشكلات سمية النباتات وتحول السلسلة الغذائية، يصبح التيسر البيولوجى مهماً حيث إنه من المرغوب فيه تقدير أو حتى تقليل التيسر البيولوجى للعناصر النادرة.

جدول ٧ – ٤ ملخص للأنواع الشائع تأثيرها بسمية بعض العناصر النادرة.

العنصر	الأنواع المتأثرة سلبيا				
	الإنسان	حيوانات	كائنات مائية	طيور	نباتات
Cd	*	*	*	*	*
Se , Cr , Hg , Pb , As	*	*	*	*	
Zn , Ni , Cu			*		*
Co , F , Mo		*			
B					*

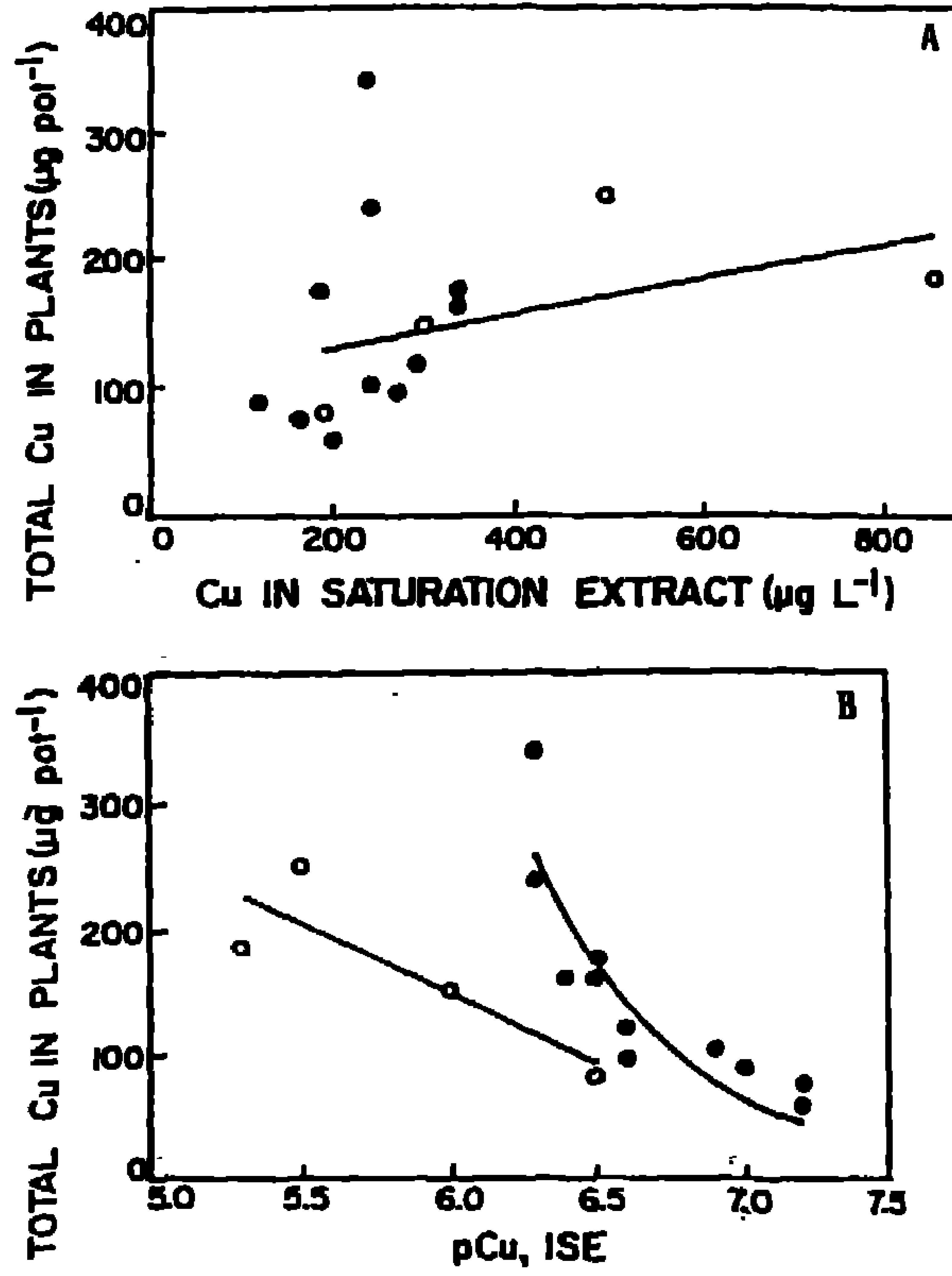
(Page , 1992 .)

وكما ذكرنا فى الفصل الثانى، فإن التيسر البيولوجى هو إمكانية أن تُحدث مادة ما فى البيئة (العناصر النادرة فى الأراضى فى هذه الحالة) تأثيرا، إما موجبا أو سالبا. وتعتبر التركيزات الكلية للعناصر النادرة فى الأراضى، فى الحقيقة، مُتَنبِّئات فقيرة للتيسر البيولوجى للعناصر النادرة. كما يعتبر جزء العنصر الميسر حيويا، إلى حدما، جزءا ثانويا أوفرعيا من الجزء الكلى للعنصر النادر الذى يتنبأ جيدا بالاستجابة. وهنا، يشير هذا التنبؤ بصفة عامة إلى امتصاص النبات للعنصر النادر. وبالرغم من ذلك، يجب الاعتراف أن إضافات العنصر النادر للأراضى، التى تزيد تركيزات العنصر النادر الكلية، سوف تزيد، على الأرجح، التيسر الحيوى للعنصر النادر على الأقل إلى حدٍّ ما. وفى هذه الحالة، فقد توجد علاقة بين تركيزات العنصر النادر الكلية وتركيزاته الميسرة بيولوجيا.

ويمكن أن يستخدم النحاس كمثال ليبين لنا بعض العمليات الداخلة فى التيسر الحيوى. مبتدئا بالمحلول الأرضى، يمكن للمرء بسهولة أن يقيس تركيز النحاس الكلى فى المحلول (بدون تداخل مع تركيز النحاس الكلى فى عنية التربة) باستخدام جهاز مقياس طيف الامتصاص الذرى. وهذا التركيز يشار إليه Cu_T، ويمثل فى الحقيقة مجموع أصناف كثيرة مختلفة للنحاس الذائب، كما يلى:

$$Cu_T = Cu^{2+} + Cu\,OH^{+} + Cu\,CO_3^{o} + Cu\,Cl^{+} + \ldots\ldots (7 - 1)$$

وكما يشير شكل ٧ – ٥، فإن تركيز Cu^{2+} (على وجه التحديد، نشاط Cu^{2+}) هو الذى يقدر التيسر البيولوجى للنحاس. ويبين الشكل ٧ – ٥أ العلاقة بين Cu_T وتركيز النحاس فى نباتات الفول Snapbean. والدوائر المملوءة سوادا تمثل إضافات النحاس إلى التربة من حمأة المجارى، والدوائر المجوفة تمثل إضافات النحاس من كبريتات النحاس. ويوضح شكل ٧– ٥ ب العلاقة بين pCu (اللوغاريتم السالب لنشاط Cu^{2+} ؛ وكلما يزداد pCu^{2+}، ينقص نشاط Cu^{2+}) – عندما يقاس باستخدام إلكترود أيونى مختار – وتركيز النحاس فى نباتات الفول Snapbean. ومن الناحية الكمية يستطيع المرء أن يرى أن pCu متنبئ أفضل لتركيزات النحاس فى النباتات من Cu_T. وبصفة عامة، لكل عنصر نادر صنف ذائب (Cu^{2+} فى هذا المثال) له أفضلية



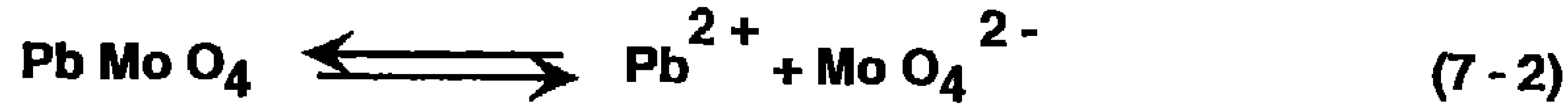
شكل ٧ – ٥ العلاقة بين النحاس الكلى فى نباتات الفاصوليا، Cu_T (a) أو p Cu (b) فى المحلول الأرضى . تمثل الدوائر المفتوحة إضافات النحاس للتربة من كبريتات النحاس، وتمثل الدوائر المغلقة إضافات النحاس من حمأة المجارى. (Minnich et., 1987.)

الامتصاص بواسطة النباتات. وعلى ذلك فإن أحد الأمور المهمة للتيسر البيولوجى هو مايتعلق بالعوامل التى تتحكم فى نشاط الأصناف الذائبة للعناصر النادرة فى المحلول الأرضى، وهى التى لها أفضلية أن تمتص بواسطة النبات. وبالبداهة، فإن هذا معقول لأن الجذور تحصل على النحاس من المحلول الأرضى.

وتمشياً مع مثالنا عن النحاس، فإن أيون النحاس Cu^{2+} الحر يمكن أن يجتاز تفاعلات الادمصاص، أو يترسب فى هيئة طور صلب محتوى نحاس، أو يتفاعل مع المادة العضوية، أو يكوّن أصنافًا ذائبة أخرى، أو يُغيِّر حالة التأكسد فى حالة تغير ظروف التأكسد - الاختزال فى التربة.

وتشمل تفاعلات ادمصاص الكاتيونات عموما تفاعلات الكاتيون مع مواقع التبادل حيث نجد فى هذا المثال أن التجاذب الإلكتروستاتيكى بين أيون النحاس Cu^{2+} ومواقع التبادل السالبة الشحنة يؤدى إلى ادمصاص Cu^{2+} على الطور الصلب للتربة. ونظراً لأن الأراضى عامة لها محصلة شحنة سالبة، فإن هذا التفاعل فى غاية الأهمية للفلزات الكاتيونية. ويمكن أن يشمل أيضا ادمصاص الأنيونات قوى إلكتروستاتيكية، ولكن عملية الادمصاص تتسم بصفة عامة بتكوين رابطة كيميائية بين العنصر النادر والطور الصلب فى التربة. ويعتبر ادمصاص الموليبدات على معادن أكاسيد الحديد أوالألومنيوم مثالاً لذلك. كما تعتبر تفاعلات الادمصاص للأنيونات الأوكسجينية للعناصر النادرة مشابهة لتلك التى ذكرت فى قسم ٥ - ٣ - ١ بالنسبة للفوسفات الأحادى والثنائى، وفى قسم ٦ - ٣ - ١ بالنسبة للكبريتات.

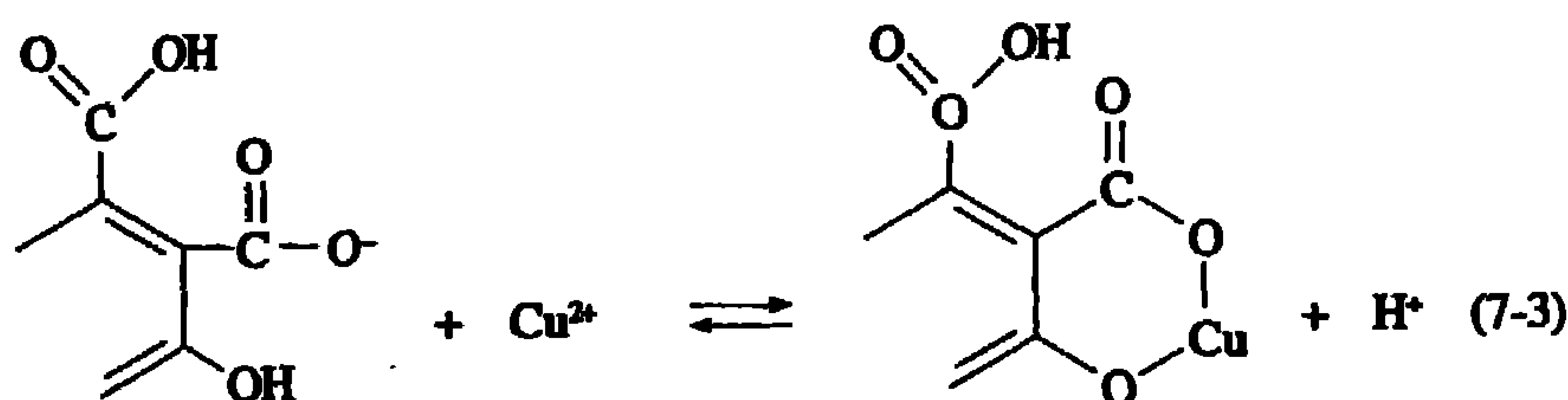
ويحدث ترسيب للأطوار الصلبة للعناصر النادرة عندما يزداد ذوبان الطور الصلب فى المحلول الأرضى، كماهو موضح فى التفاعل بين عنصرين نادرين كمايلى:



$$PbMoO_4 \rightleftharpoons Pb^{2+} + MoO_4^{2-} \qquad (7-2)$$

فإذا كان نظام التربة فى حالة اتزان مع موليبدات الرصاص $PbMoO_4$ (وولفينيت)، فإن الطور الصلب يتحكم فى نشاط أيونات الرصاص أو / والموليبدات فى محلول التربة.

وتحتوى المادة العضوية فى التربة على أنواع عديدة من المجاميع الفعالة التى تستطيع أن تكوّن مركبات معقدة مع العناصر النادرة، أوتعمل كمواقع تبادل. ومثال للتفاعل الذى فيه مجاميع الكربوكسيل (COOH) والهيدروكسيل (OH) تعمل معاً لتكوين مركب معقد مع النحاس؛ موضح كالآتى:



وهناك عناصر نادرة عديدة تمر بتغيرات فى حالة التأكسد تحت مدى ظروف التأكسد والاختزال الموجودة فى التربة. ويعتبر الزرنيخ Fe, Cr, Cu, Se , Mn, أمثلة نموذجية على ذلك. فالسلينيوم، مثلا ، يمكن أن يوجد فى صورة سلينيد (Se^{2-})، سلينيوم عنصر (Se^{o})، سلينيت (SeO_3^{2+} مع Se^{4+})، سلينات (SeO_4^{-} مع Se^{6+}) فى الأراضى والرواسب. والسلينات لها درجة تيسر بيولوجية أعلى بكثير عن صور السلينيوم المختزلة بدرجة كبيرة. ويمكن أيضا لظروف التأكسد – الاختزال للتربة أن توثر بطريق غير مباشر فى التيسر البيولوجى للعناصر النادرة. مثلا، يكون التيسر البيولوجى للكادميوم منخفضاً أكثر تحت ظروف الغمر (ظروف لا هوائية). وهذا يمكن أن يعزى إلى تكوين مركب CdS غير ذائب فى البيئة المختزلة.

وكنتيجة للتيسر البيولوجى للعناصر النادرة يمكن للنويان أن يتأثر إلى حد كبير برقم حموضة التربة. وعموما، يزداد التيسر البيولوجى للفلزات الكاتيونية كلما ينقص pH التربة. كما أن تأثيرات pH التربة على التيسر البيولوجى للأنيونات الأوكسجينية متغيرة بدرجة كبيرة، فالزرنيخ، والموليبدنم، والسلينيوم، وبعض صور الكروميوم، غالبا تصبح ميسرة للنبات كلما يزداد رقم الحموضة.

وهناك عدد من الأسباب التى تعلل تغيير التيسر البيولوجى للعناصر النادرة مع التغير فى pH التربة ، فيمكن أن تتنافس البروتونات أو أيونات الهيدروكسيل على الادمصاص أو على تكوين مواقع معقدات؛ وعلى ذلك فالتغير فى نشاط أيونات الهيدروجين أو الهيدروكسيل يمكن أن يغير تقسيم أو تجزئة العناصر النادرة بين

المحلول الأرضى وبين الطور الصلب للتربة. والتغير فى pH المحلول الأرضى يمكن أن يغير مجموعة الأصناف الذائبة للعنصر النادر. فمثلا، عند pH أقل من ٦ يسود أيون pb^{2+}، بينما عند pH ٦ – ١١ تسود صورة $pb\ OH^+$. والأطوار الصلبة للعناصر النادرة يمكن أن تعتمد درجة ذوبانها على رقم الحموضة. وفى الحالات التى تكون فيها الأطوار الصلبة هى المتحكمة فى درجة ذوبان العنصر النادر، فإن التيسر البيولوجى يتغير مع التغير فى pH. وسنقدم مثالا بسيطا حيث يذوب معدن التينوريت (CuO) بإضافة أيونات هيدروجين. وفيما يلى معادلات الاتزان جنبا إلى جنب مع التعبير الرياضى الذى يصف التغير فى لوغاريتم نشاط النحاس Cu^{2+} مع التغير فى pH. وفى استنباطنا للتعبير الرياضى الأخير افترضنا أن نشاط كل من الماء H_2O والمعدن الصلب CuO يساوى واحد، وأخذنا لوغاريتم معادلة الاتزان، كما حولنا لوغاريتم نشاط الهيدروجين إلى pH (رقم حموضة):



$$CuO + 2H^+ \rightleftharpoons Cu^{2+} + H_2O \qquad (7 - 4)$$

$$\frac{(Cu^{2+}) + (H_2O)}{(CuO)(H^+)} = 10^{7.66} \qquad (7 - 5)$$

$$Log\ (Cu^{2+}) = 7.66 - 2\ pH \qquad (7 - 5)$$

وهكذا فكلما ينقص pH، يزداد نشاط Cu^{2+} والعكس بالعكس.

ويوضح جدول ٧ – ٥ تأثير pH التربة على تركيزات البورون، Ni , Mo , Cu , Cd فى أنسجة البرسيم الحجازى. فينقص التيسر البيولوجى للبورون، Ni , Cu , Cd مع زيادة pH، بينما العكس صحيح بالنسبة للموليبدنم.

ومن الناحية العملية، من الصعب جدا أو من المستحيل أن تقدر نشاط الأيون فى عينة ممثلة للمحلول الأرضى. وتوجد إلكترودات (أقطاب) مختارة ميسرة لقلة أو عدد محدود من الأيونات، وتستطيع قياس نشاط الأيون مباشرة فى المحاليل المائية. وحتى فى هذه الحالة، فالأنشطة الموجودة فى المحاليل الأرضية أو مستخلصات التربة تكون فى الغالب أقل من حد الاكتشاف للعناصر النادرة إلا إذا كان المرء يتعامل مع تربة ملوثة بدرجة كبيرة. وتوجد طرق أخرى أقل مباشرة وأكثر إرهاقا لتقدير نشاط

جدول ٧ – ٥ تركيزات بعض العناصر فى أنسجة نبات البرسيم الحجازى حسب تأثرها برقم حموضة التربة pH (مجم / كجم).

Mo	Ni	Cu	B	Cd	pH
١٩٣	١ر٩	١٧ر٧	٦٤ر١	٠ر٨	٦ر٠
٣٤٢	٠ر٨	١٦ر٨	٤٠ر٩	٠ر٦	٧ر٠
٣٧٠	٠ر٨	١٦ر٠	٣١ر٨	٠ر٤	٧ر٧

(Pierzynski, 1985.)

الأيون، ولكنها غير قابلة للتطبيق فى التحليل الروتينى للأراضى. وكبديل لذلك، اقترحت مستخلصات تربة عديدة تقدر تجريبيا التيسر الحيوى للعناصر النادرة. وفى أبسط الحالات، فإن هذه المستخلصات عبارة عن محاليل أملاح ضعيفة تكون فيها تركيزات العنصر النادر أعلى من تركيزاته فى المحلول الأرضى (للتغلب على مشاكل حد الاكتشاف). وتعتبر النتائج المدونة فى شكل ٧ – ٤ أمثلة لذلك . ولقد تم أيضا تطوير طرق تجزىء أكثر تعقيداً تحاول أن تفصل تركيزات العنصر النادر إلى صور: قابلة للتبادل، وذائبة فى الماء، ومرتبطة بالكربونات أو الأكسيد، ومترسبة، ومتبقية. ولكى يتم الإفادة من مخططات الاستخلاص هذه، يجب إيجاد العلاقة بين تركيزات العنصر النادر المستخلص من التربة وتركيزاته فى النبات، مثل تلك الموضحة فى شكل ٧ – ٥.

وقد تستخدم النباتات ذاتها كأدلة أو مؤشرات للتيسر الحيوى للعنصر النادر. واستجابة النبات للعناصر النادرة فى الأراضى تكون على صورة: نباتات مُجمِّعة، أو نباتات أدلة، أو نباتات مانعة أو مستبعدة ؛ فالنباتات المجمعة هى النباتات النشيطة فى امتصاص العنصر، بصرف النظر عن ضروريته، أو دون حاجة ظاهرة لذلك، ويمكن أن تحتوى على تركيزات عالية بدرجة هائلة من العنصر بدون أن تعانى أى تأثيرات مرضية. وتستطيع النباتات البقولية أن تجمع الموليبدنم بالرغم أن احتياجاتها البنائية

للموليبدنم منخفضة تماما. وبعض أصناف الجنس Astragalus مجمعة للسلينيوم، ويمكن استغلال وجودها كوسيلة للتعرف على الأراضى الغنية فى السلينيوم. والنباتات الأدلة هى الأصناف التى تمتص عنصر ما بكمية متناسبة مع كميته الموجودة فى الأرض (حتى تحدث سمية للنبات)، ولكنه لا يحتاج العنصر بالضرورة من أجل نموه. والنباتات المستبعدة أو المانعة وهى تمنع بنشاط امتصاص العناصر بدرجة تجعل تركيز العنصر النادر فى النباتات يظل منخفضا نسبيا وثابتا عند مستويات مختلفة للعنصر النادر فى التربة.

ويبين جدول ٧ – ٦ الاختلاف فى تركيزات الكادميوم والزنك التى توجد فى أصناف مختلفة للنباتات النامية فى نفس التربة والاختلاف فى تركيزات الكادميوم بالنسبة لأصناف معينة للنباتات النامية فى ثلاث أراضى مقارنة بتركيزات الكادميوم. ويوجد فرق كبير جدا يبلغ ١٥ ضعفًا فى تركيزات الكادميوم بين أصناف النبات داخل الأراضى، ويبلغ الاختلاف خمسة أضعاف تركيزات الكادميوم بين الأراضى لصنف واحد معين. ومما يستحق ذكره أن النباتات النامية فى تربة Gazos، التى لها أعلىpH وأعلى سعة تبادلية كاتيونية، لم تحتوى بانتظام على تركيزات كادميوم أقل مقارنة بالنباتات النامية فى باقى الأراضى.

ومعرفة العمليات الداخلة فى التيسر الحيوى للعناصر النادرة تساعد فى فهم المبررات وراء اختيارات الإدارة للأراضى الملوثة بالعناصر النادرة. وهذه العمليات ملخصة فى شكل٧ – ٦ الذى يصف الدورة البيوجيوكيميائية العامة للعناصر النادرة فى النظم البيئية الزراعية. وتعتبر الكمية الكلية للعنصر النادر فى المحلول الأرضى فى وقت معين صغيرة بالمقارنة بما تزيله النباتات على مدار الزمن. وهناك تفاعل ديناميكى بين المحلول الأرضى والطور الصلب للتربة. والعمليات التى تتفاعل مع المحلول الأرضى، والتى لها سهم مزدوج الاتجاه تكون فى حالة اتزان سريع مع المحلول الأرضى. وهذه المستودعات (المصادر) للعناصر النادرة تسمى أحيانا احتياطى ميسر، أو اللابايل أى القابل للإحلال أو التغير، وهى تمثل على الأرجح معظم الصور الميسرة بيولوجيا للعناصر النادرة. ولعل أفضلها هو ذلك الممتص بواسطة النبات. وعندما تمتص النباتات العناصر النادرة من المحلول الأرضى، تقوم مستودعات الاحتياطى الميسر (اللابايل) بتعويض المحلول الأرضى فى فترة وجيزة من الزمن بدرجة كافية

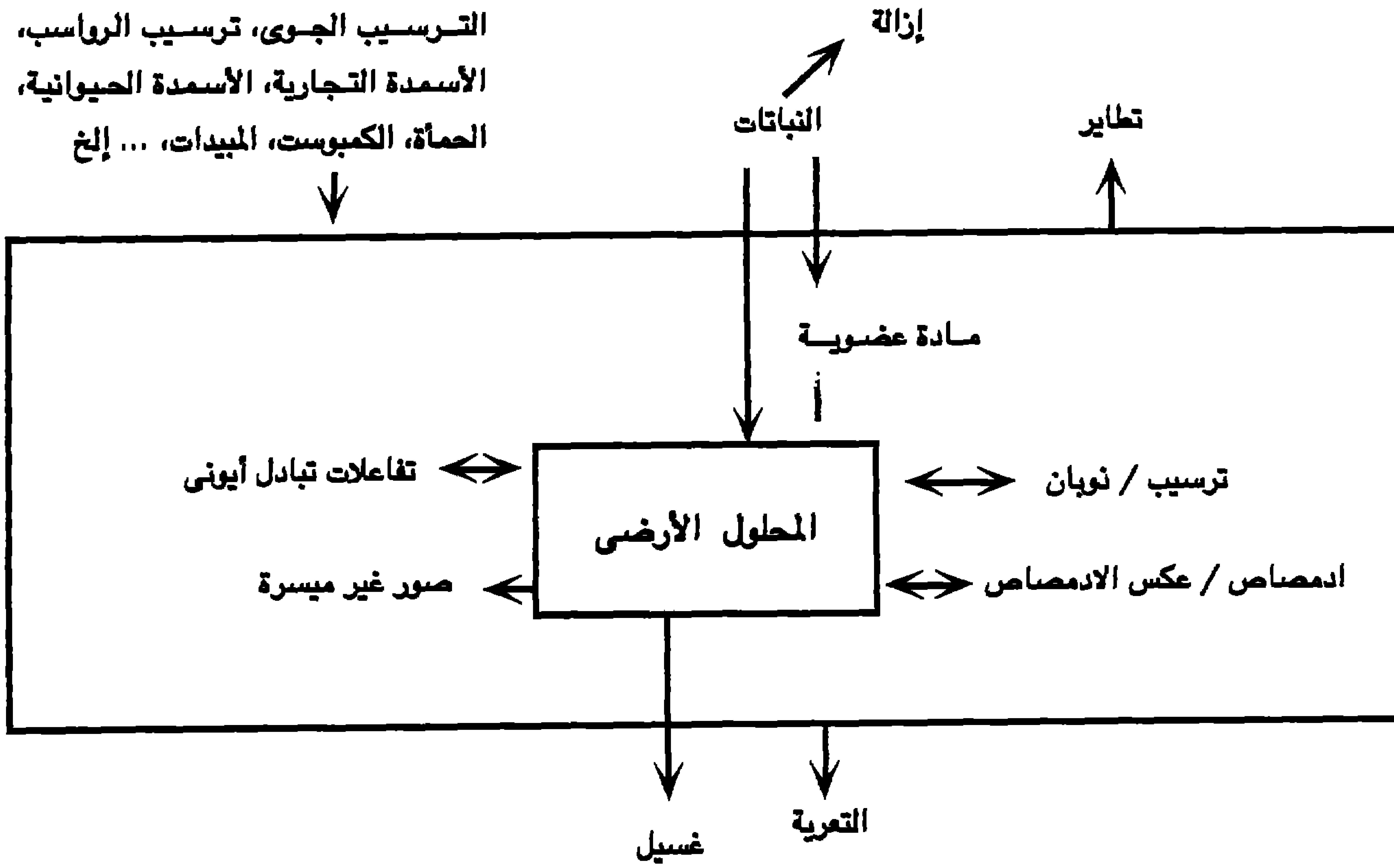
جدول ٧ – ٦ تركيزات الكادميوم والزنك فى أوراق محاصيل مختلفة حسب تأثرها بسلسلة الأراضى (مجم / كجم).

النبات	Cd			Zn		
	Gazos*	Greenfield	Domino	Gazos**	Greenfield	Domino
طماطم	٨ر٥	١٦ر٥	١٢ر٩	٢٠ر٠	١٢١ر٠	٩٩ر٥
فلفل	٢٦ر٢	١١ر٤	١٠ر٢	١٠٨ر٠	١٩٥ر٨	٢٠٥ر٠
ورق الخس	٢١ر٩	٦٣ر٧	١٥ر٨	٥٨ر٠	٣٥٤ر٠	١٣٧ر٠
رأس	٢٦ر٣	٤١ر٦	١٧ر٩	٥٧ر٣	٢٨١ر٠	١٤٣ر٨
الخس	١٩ر٦	١٧ر٩	١٤ر٠	٤٨ر٨	٣٣٢ر٨	٢٤٦ر٨
فجل	١٥ر٦	٨ر٧	٤ر٦	٢٦ر٥	٥٠ر٥	٢٧ر٥
بطاطس	٤ر١	١٩ر٣	١٤ر١	٤٧ر٠	٢٣٩ر٥	١٥٤ر٨
ذرة	١ر٨	٩ر٠	٣ر٣	٤٢ر٥	٢١٠ر٠	١٣٠ر٥
قمح	٨ر٠	٣٧ر٩	١٩ر٥	٣٣ر٥	٨٨٤ر٠	٣٤٩ر٨
شمندر	٧ر٤	٨ر٨	٦ر٤	١٩ر٠	٢٨٨ر٠	١٦٧ر٨
بروكلى	١٠ر٧	١٤ر٥	١٠ر٥	٤٧ر٨	١٥٥ر٥	١٠٩ر٥
جزر	١١ر٥	٥١ر٨	٢٣ر٧	٤٨ر٣	١٠٢٢ر٣	٤٤٦ر٥

(Kim et al., 1988.)

* تركيزات الكادميوم الكلى فى التربة كانت ٥,٦ ، ٥,١ ، ٥,٣ مجم / كجم لأراضى Domiono, Greenfield , Gazos على الترتيب.

** تركيزات الزنك الكلى فى التربة كانت ١٤٧، ٢٥٠، ٣٠٩ مجم / كجم لأراضى Domino, Green-field, Gazos على الترتيب.



شكل ٧ – ٦ دورة العناصر النادرة فى الأراضى. المستطيل الكبير يُحدّد حدود السولام.

توفر للنبات بالضرورة مصدراً ثابتًا للعنصر النادر. أما الصور غير الميسرة فقد تسهم مساهمة بسيطة جدا فى امتصاص النبات. وتشمل الصور غير الميسرة الطور المفصول فيزيائيا عن المحلول الأرضى للعنصر النادر (المرتبط) والأطوار الصلبة الشحيحة الذوبان للعنصر النادر. لاحظ أن هناك أربعة طرق فقط لإزالة العناصر النادرة من نظام الأرض ، وهى الإزالة فى المحصول، والإزالة بالانجراف، والإزالة بالغسيل، والإزالة بالتطاير. وتعتبر الإزالة فى المحصول كبيرة بالمقارنة بكميات العناصر النادرة سهلة المنال بواسطة النظام الجذرى للمحصول. ويعد الفقد بالانجراف والفقد بالغسيل غير مرغوبين ؛ حيث إنهما يمثلان انتشاراً إضافياً للملوث الضار. ويعتبر الفقد بالتطاير مساراً مُهمًا للقليل فقط من العناصر النادرة.

٧ - ٤ اختيارات العلاج للأراضى الملوثة بالعناصر النادرة :

وكما هو متبع مع كثير من المشكلات ، يعتبر المنع أفضل وسيلة عادة ، ولا استثناء فى تلوث الأراضى بالعناصر النادرة. ونعيد إلى الأذهان أنه قيل أن تلوث الأراضى بالعناصر النادرة دائم فى معظم الحالات. وفى ضوء ذلك، يتم أحيانا تنظيم إضافات العناصر النادرة. وتوجد حالة وثيقة الصلة بالموضوع وهى التشريعات الحديثة للتخلص من حمأة المجارى التى فرضت حدوداً (مستويات) للعناصر النادرة التى يمكن أن تدخل إلى التربة عن طريق إضافة الحمأة للأراضى. وهذه الحدود مدونة فى جدول ٩ - ٤ . ولقد وضعت هذه الحدود بعد اتباع طرق تقدير مناسبة (سوف توصف فى الفصل الحادى عشر)، وعُمل لها توفيق بين حماية جودة التربة واستخدام التربة كوسط للتخلص من العناصر الغذائية للنبات والمادة العضوية الموجودة فى الحمأة.

وهناك إستراتيجيتان عامتان يمكن اتباعهما مع الأراضى الملوثة بالعناصر النادرة. الأولى، سوف نعطيها مصطلح **«تقنيات المعالجة»**، وهو يشير إلى التربة التى تحركت فيزيائيا وعوملت بطريقة ما فى محاولة لتخفيض تركيزات العناصر النادرة أو تخفيض خاصية السمية لها باستعمال طريقة الغسيل (الاستخلاص) (TCLP) إلى

مستويات مقبولة. وطريقة TCLP عبارة عن بروتوكول يستخدم بواسطة وكالة حماية البيئة الأمريكية، وهى الجهة التى تُحدّد المواد التى تُغسل تحت ظروف قياسية. وعندما تتعدى تركيزات المواد المختلفة الحد الحرج بدرجة ما، تصنف المادة على أنها خطيرة. والثانية، نعطيها مصطلح **«الإدارة فى نفس الموقع»** وهو يشير إلى التربة التى يتم إدارتها أو معالجتها فى نفس مكانها. وهناك فئتان فرعيتان من داخل اختيار الإدارة فى نفس الموقع ؛ الفئة الفرعية الأولى: **العزل :** وهو أحد العمليات التى عن طريقها يؤخذ حجم من التربة ويتم تحجيره أى تحويله إلى حالة صلبة، كما يتم منعه فيما بعد من أى تفاعل مع البيئة. وتتكون الفئة الفرعية الثانية من الطرق المستخدمة لغرض **تقليل أو تخفيض التيسر الحيوى للعناصر النادرة.**

٧ – ٤ – ١ تقنيات المعالجة :

تشمل تقنيات المعالجة مجموعة واسعة التنوع من عمليات تتراوح من المعالجة بالحرارة العالية لإنتاج مادة زجاجية حبيبية غير قابلة للغسيل إلى إضافة مواد لها قدرة تحجر (تصلب) لإنتاج مادة شبيهة بالأسمنت فى عمليات الغسيل. والوصف التفصيلى لهذه التقنيات لا يدخل فى نطاق هذا الكتاب. وهذه العمليات فعالة ومؤثرة، إما فى تخفيض تركيزات العناصر النادرة فى التربة أو فى تخفيض تركيزات العناصر النادرة المستخلصة بواسطة TCLP إلى حد مقبول.

وتوجد بعض نقاط الضعف فى تقنيات المعالجة جديرة بالذكر؛ وهى أن الكتل المتحجرة من التربة، وأى عناصر نادرة تزال من التربة سوف تظل فى حاجة إلى التخلص منها. وهذا قد يتطلب معالجة إضافية للأحجام الكبيرة من مياه الصرف الصحى. وعلى ذلك، فإن مشكلة العناصر النادرة قد تتغير صورتها ولكنها تظل قائمة. ولعل أهم نقطة ضعف هى الحقيقة التى تعنى أن مشاكل التربة الملوثة بالعناصر النادرة تتضمن كميات كبيرة من التربة بصفة متكررة. وتوجد حالة وثيقة الصلة بالموضوع فى ريف شيروكى، ولاية كنساس، التى ينتشر فيها مواقع عديدة لتعدين

الرصـاص والزنك الموجود بوفرة. ولقد ورد فى حـصر الأراضى للريف وجـود ١٣١٦ هكتار لمواقـع مناجم مهملة. وجميع هذه المناطق بها تركيزات عالية جدا من الرصاص والزنك فى التربة أو مـادة المنجم التـالفـة المتبـقيـة فى الموقع، وقـد تصـبح مفيدة بعـد العـلاج. وإذا عـولجت الـ ١٥سم العلوية لهذه المناطق، فـسـوف تحـتـاج حـوالى ٤ر٢ × ١٠^٦ ميجا جرام (طن) من مادة المعالجة. وهذا تقدير متحفظ جدا بسبب أن معالجة الـ ١٥سم العلوية ليست كافية، وهناك أيضـا مناطق أخرى كثـيرة تحـتـاج العلاج، وهذه ليست ظاهرة فى الوقت الحالى فى حصر الأراضى. وحتى فى حالة وفرة تقنية معالجة فعالة، ستكون مرتفعة التكلفة مما يمنع معالجة كميات المادة اللازمة لحل المشكلة. وبناء على ذلك، فإن تقنيات المعالجة قاصرة على الحالات التى لها أحجام صغيرة من التربة تحتاج إلى المعالجة.

٧ – ٤ – ٢ الإدارة أو العلاج فى نفس الموقع :

العزل، وهو فئة فرعية لاختيار الإدارة فى نفس الموقع، ويشمل الإضـافات فى نفس الموقع للعمليـات المذكورة تحت اخـتيـار تقنيـات المعـالجة. ويسـتـخـدم **التـزجيج (التحويل إلى زجاج) فى نفس المكان** تيارا كهربائيا مارًا خـلال حجم من التربة والذى ينتج مونوليث زجاجى (مونوليث: حجر ضـخم وحدة واحدة متراصـة). ويشمل **التحجر أو التصلب فى نفس الموقع** خلط التربة مـع مواد تعمل على التصلب بدون إزالة التربة من مكان اسـتـقـرارها الأصلى. ويتكون مـونوليث فى نفس المكان، وهـو مشـابه لعملية إنضـاج الخرسانة بالترطيب منعاً لتشققها. وتَعزِل كلتا العمليتين الملوثات من البيئة المحيطة عن طريق تغليفها أو كبسلتها فى قالب غير مسامى.

ولعل من أعظم الأمور أهمية فى سياق هذا الكتاب الطرق التى تستخدم لتقليل التيسر البيولوجى للعناصر النادرة. وهذه من صميم اهتمامات عالم الأراضى حيث إن الاختيارات السابق ذكرها عبارة عن مفاهيم هندسية ، وتشمل الطرق التى ستناقش:

تغيير رقم حموضة التربة pH، وزيادة سعة الادمصاص للأراضى، وترسيب العناصر النادرة فى صورة طور صلب غير ذائب، والتخفيف، وتفاعلات الفلز مع الفوسفور، وتشجيع الفقد بالتطاير. وقد درست جيداً تأثيرات رقم حموضة التربة، والسعة التبادلية الكاتيونية، وتفاعلات الادمصاص على التيسر البيولوجى للعناصر النادرة، وذكرت فى كتب الأراضى، بالرغم أنها عامة وليست فى مجال تقنية العلاج. والطرق الباقية مذكورة غالبا فى المقالات الهندسية الخاصة بتقنيات علاج الأراضى، ولكنها ليست دائما معروضة مع نتائج تثبت فعاليتها.

ومن بين جميع الطرق المستخدمة لتخفيض التيسر البيولوجى للعناصر النادرة، زيادة pH التربة باستخدام الجير (عامة إلى ٥ ر٦ أو أكثر)، وربما هى أكثر طريقة شائعة مستخدمة. وهذا بسبب الانتشار العام للمشاكل بالفلزات الكاتيونية عكس الأنيونات الأكسجينية، وبسبب الحقيقة التى تعنى أن إدارة pH التربة جزء روتينى من برنامج خصوبة التربة. وبكل وضوح، عندما يتعامل المرء مع حالة متضمنة أكثر من عنصر نادر – كما هو موضح فى جدول ٧ – ٥ – فإن تغيير pH التربة قد يُحسّن الأمور بالنسبة لبعض العناصر، وقد يجعل الأمور أسوأ بالنسبة لعناصر أخرى.

وأوضحت الدراسات أن تيسر بعض العناصر النادرة للنبات يتأثر بالسعة التبادلية الكاتيونية للتربة، مع انخفاض فى درجة التيسر كلما تزداد السعة التبادلية. ونظريا، تُعتبر زيادة السعة التبادلية الكاتيونية للتربة طريقة فعالة من أجل تخفيض التيسر البيولوجى للعناصر النادرة. والزيادة فى السعة التبادلية الكاتيونية للتربة يمكن تحقيقها عن طريق إضافة طين له سعة تبادلية عالية، أو ربما عن طريق إضافة مواد عضوية (مثل الأسمدة الحيوانية، والحمأة، والبيت). ويمكن للمواد العضوية أن تُكَوِّن مركبات معقدة مع العناصر النادرة. ومع أى نوع من المواد السابقة، تزداد سعة الادمصاص للتربة، والتى تقلل التيسر البيولوجى للعناصر النادرة، ويمكن أن تزداد أيضا سعة ادمصاص التربة للأنيونات الأوكسجينية، مع انخفاض تابع فى درجة تيسرها البيولوجى، عن طريق إضافة كميات كبيرة من أملاح الحديد أو الألومنيوم. وسوف تذوب الأملاح وتنتج أكاسيد وهيدروكسيدات حديد وألومنيوم، التى تعتبر

بالوعات فعالة جدا لأوكسى أنيونات معينة. وهناك بعض الشك عما إذا كانت التغيرات التى تحدث فى التيسر البيولوجى نتيجة إضافة مواد مثل الطين، أو البيت، أو أملاح الحديد أو الألومنيوم تعزى إلى التغيرات فى السعة الادمصاصية، أو إلى التغيرات فى بعض صفات التربة الكيميائية الأخرى مثل رقم الحموضة pH.

ويمكن أن تسبب إضافة أملاح الهيدروكسيد، والكربونات، والفوسفات، والكبريتات، أو الأملاح المحتوية كبرتيد، ترسيبًا للطور الصلب المناظر المحتوى على العنصر النادر. وإذا تحكَّم الطور الصلب بعدئذ فى نشاط العنصر النادر فى المحلول الأرضى، وأصبح النشاط منخفضاً عن المستوى الابتدائى، فإن التيسر البيولوجى للعنصر النادر سوف ينخفض.

ويشير التخفيف ببساطة إلى تخفيف الأرض الملوثة بمادة غير ملوثة. وهذه المادة تكون فى الغالب تربة غير ملوثة، ولكنها يمكن أن تكون مواد أخرى مثل حمأة المجارى، أو مخلفات مصنع الورق، أو الأسمدة الحيوانية، أو رماد الفحم الحجرى، ويمكن تحقيق التخفيف أيضا بالحرث العميق، مع افتراض أن الآفاق تحت سطح التربة لها مستوى تلوث أقل بكثير إذا قورنت بمادة سطح التربة. وهذا هو الحال فى الغالب عندما يكون الترسيب الهوائى للعناصر النادرة عاملاً مُهمًا فى عملية التلوث.

وقد دُرست بدرجة كبيرة تفاعلات الفلز مع الفوسفور بالنسبة لنقص العناصر النادرة فى المحاصيل الراجع إلى زيادة الفوسفور. وهذا النقص فى درجة التيسر البيولوجى للعناصر النادرة الذى سببه الفوسفور قد يكون مفيدا أيضا فى تخفيض مستويات العناصر النادرة السامة للنبات أو فى تخفيض انتقال العناصر الغذائية فى السلسلة الغذائية. وينتشر هذا التفاعل مع الزنك، والنحاس، والحديد، ومع ذلك، فإن الآلية الحقيقية لتفاعل الفلز والفوسفور غير معروفة. وتشمل الآليات المفترضة علاقات الانتقال، والتداخل البنائى، وانخفاض تركيزات العناصر النادرة فى النبات الراجع إلى استجابة النمو للفوسفور مع حدوث تخفيف بعد ذلك للعناصر النادرة، وتكوين أطوار صلبة غير ذائبة للعناصر النادرة. ويمكن لأنيونات الفوسفور الأوكسجينية أن تتفاعل أيضا مع أنيونات أوكسجينية أخرى. ويزداد التيسر البيولوجى لبعض الأنيونات

الأوكسجينية، وخاصة الزرنيخ، مع زيادة مستويات الفوسفور. ويعزى هذا التفاعل ربما إلى إحلال الفوسفور محل الزرنيخ على مواقع التبادل.

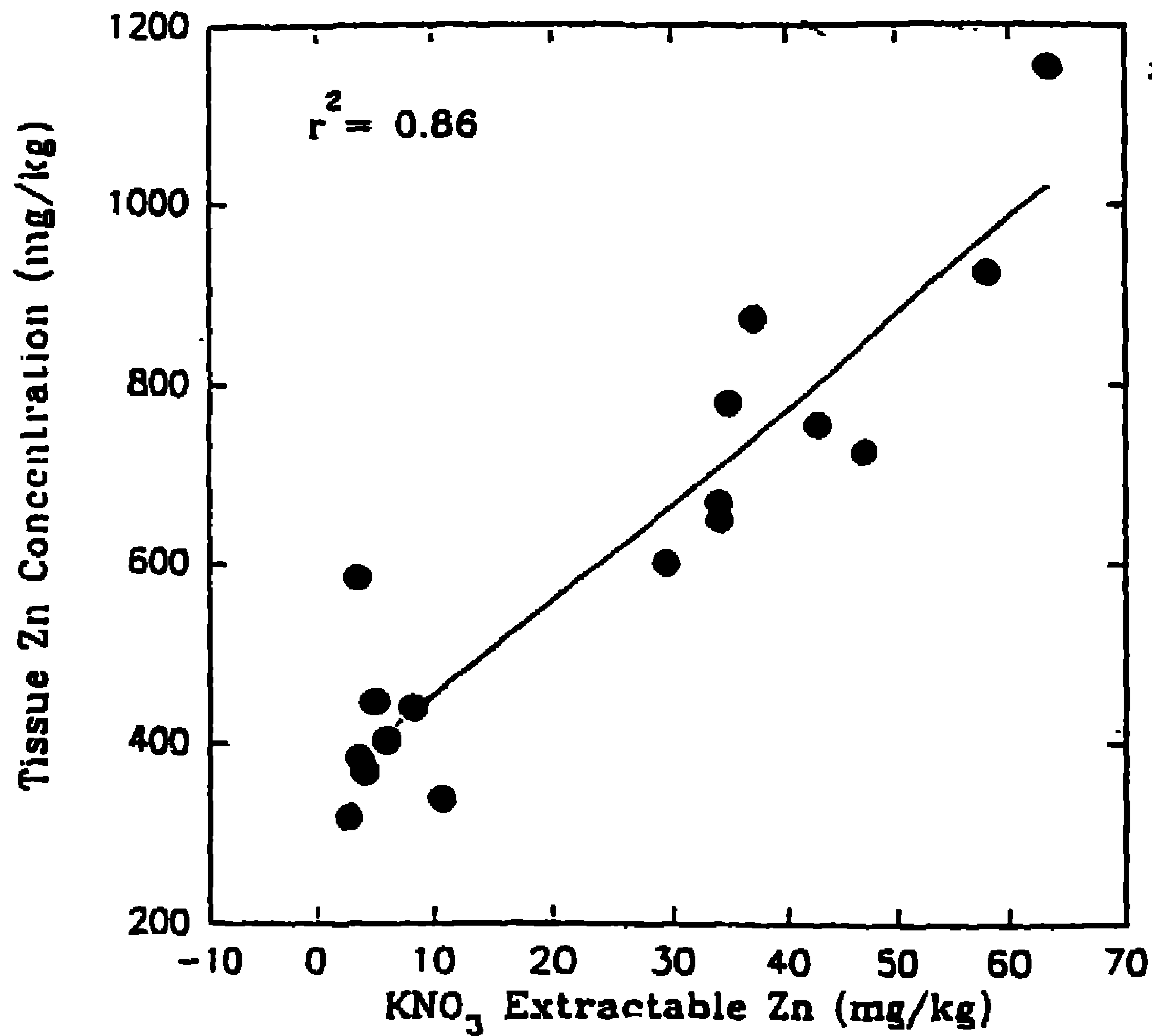
ومعروف منذ زمن طويل أن بعض العناصر النادرة توجد فى صور متطايرة. وهذا صحيح بصفة خاصة بالنسبة للزرنيخ، والزئبق، والسيلينيوم. وهذه الصور المتطايرة عامة مُمَثَّلنة (أى مشبعة أو ممزوجة بالميثيل). ومن أمثلة ذلك: ثلاثى ميثيل الزرنيخ [$(CH_3)_3$ As]، أحادى وثنائى ميثيل الزئبق [$(CH_3)_2Hg$]، [CH_3Hg^+] وثنائى ميثيل السلينيد [$(CH_3)_2$ Se]. ويتم إنتاج الصور الممثلنة أو المشبعة بالميثيل لهذه العناصر النادرة فى الوسط بفعل ميكروبى باستخدام عديد من المواد. وحديثا، حدث تقدم وتطوير للفكرة عن طريق تشجيع أو تحفيز إنتاج الصور المتطايرة للعناصر النادرة كوسيلة لعلاج الأراضى الملوثة. وهذه هى أحد الطرق البيولوجية. القليلة الميسرة للعناصر النادرة. وأوضحت الدراسات الحقلية حدوث انخفاض حوالى ٧٠٪ فى تركيزات السلينيوم فى الرواسب بعد تحفيز التكاثر الميكروبى عن طريق إضافة العناصر الغذائية أو / والمواد العضوية والمحافظة على ظروف النمو المثالية (من رطوبة وتهوية). ويجب ملاحظة أن عمليات العلاج هذه وأمثالها ليست مناسبة للزئبق ؛ لأن مركبات الزئبق الممثلنة سامة جدا، ومختلفة فى ذلك عن مركبات ثنائى ميثيل السلينيد.

ويجرى حاليًا دراسة طريقة علاج بيولوجية تجريبية أخرى، وتشمل استخدام أصناف النباتات المُجمِّعة بإفراط، التى تُجمِّع المعادن فى أنسجتها بتركيزات عالية جدا. ويعتبر نبات Thlaspi alpestre مجمعا بإفراط للزنك، وقد وجد أنه ينمو عندما تكون تركيزات الزنك فى التربة عالية إلى أبعد الحدود. وإنتاج كتلة حيوية بواسطة نبات Thlaspi منخفض جدا، وهناك أمل فى إمكانية تحسينها – بواسطة التقنية الحيوية – إلى النقطة التى يصبح عندها إزالة الزنك من الأراضى بهذا النبات المجمع بإفراط عمليا.

يوضح شكل ٧ – ٧ تأثير معاملات التربة المختلفة فى تخفيض التيسر البيولوجى للزنك فى تربة رسوبية ملوثة بالمعدن. وفى هذه الحالة، كان دليل الزنك

الميسر حيويا هو ذلك المستخلص من التربة بواسطة ٥ ر٠ مولار محلول نترات بوتاسيوم. ولقد اشتملت المعاملات إضافة الجير، والفوسفور، وسماد الماشية. وأنتجت المعاملات تركيزات زنك مستخلص بواسطة نترات البوتاسيوم تتراوح من ٧ر٣ إلى ٦٣ر٣ ملليجرام/كجم وبتركيزات مناظرة للزنك فى أنسجة فول الصويا بمدى ٣١٨ – ١١٥٣ ملليجرام/كجم. ولقد تمت معالجة مستويات الزنك الميسر حيويا بدون تغيير تركيز الزنك الكلى فى التربة.

ويجب ملاحظة أن تسمم النباتات يمكن أن يحمى السلسلة الغذائية للإنسان. وتسمى هذه الظاهرة «**استخدام التربة – النبات كحاجز واقى**»، وهى تشير إلى الحالة



شكل ٧ – ٧ العلاقة بين الزنك المستخلص من التربة بواسطة نترات البوتاسيوم وتركيز الزنك فى أنسجة نباتات فول الصويا ، بعد إجراء عدة تحسينات (معالجات) لأرض رسوبية ملوثة بالزنك فى محاولة لتخفيض درجة التيسر الحيوى للزنك. (Pierzynski and Schwab , 1993 .)

التى يُجرِّب (يختبر) فيها النبات السمية عند تركيز عنصر نادر منخفض عن التركيز الضار للإنسان الذى يستهلك النبات كغذاء. وهذا صحيح بالنسبة للحديد، Zr , Si , Sn Hg , Pb , Au , Ag , Ti , Al ،، وليس صحيحاً بالنسبة للزنك، B , Se , Mo , Mn , Cd . وتشمل الآليات المسؤولة عن ذلك: عدم نوبان العنصر أو احتجازه القوى فى التربة ؛ مما يمنع امتصاصه بواسطة النبات (مثل الكادميوم بعكس الرصاص)، وعدم حركة العنصر فى أجزاء النبات غير الصالحة للأكل التى تمنع الحركة فى الأجزاء الصالحة للأكل (مثل الجذور بعكس الأجزاء الخضرية)، أو تسمم النباتات الذى يحدث عند تركيزات فى أجزاء النبات الصالحة للأكل أقل من التركيزات الضارة للحيوان أوالإنسان. لاحظ أن الابتلاع المباشر للتربة الملوثة أو الأتربة يتجنب حاجز التربة – النبات الواقى.

٧ – ٥ ملاحظات إضافية :

يمكن أن يكون للجرعات العالية لبعض العناصر النادرة تأثيرات مؤذية للنبات، والحيوان، والإنسان، والكائنات المائية. وبالرغم من ذلك، فتلوث الأراضى الزراعية غير واسع الانتشار. وهذا يساعد فى حماية السلسلة الغذائية للإنسان ؛ حيث إن معظم الناس يستهلكون غذاءً ناميًا عبر منطقة جغرافية واسعة. والوصف العام للأفراد المعرضين لأكبر خطر ناتج عن جرعات غير مقبولة للعناصر النادرة هو أنهم هؤلاء الذين يقيمون فى مناطق أراضيها ملوثة بالعناصر النادرة؛ أو معرضين إلى أتربة ... إلخ؛ وأن نسبة كبيرة من غذائهم تنمو محليا خاصة النبات، واللحوم، والألبان. وبطريقة تقريبية، فإن الحيوانات قد تكون عرضة لخطر أكبر فى حالة قضاء حياتها فى منطقة صغيرة. والاهتمام بالنسبة للعناصر النادرة فى الأراضى يركز على الانخفاض فى جودة التربة من وجهة نظر التركيزات غير المقبولة للملوثات والقيود المحددة فى وظيفة التربة.

المراجع :

Bowie, S. H. U. and Thornton, I., Ed., Environmental Geochemistry and Health, Kluwer Academic Pupl ., Hingham, MA, 1985.

Kim, S. J., Chang, A. C., Page, A. L., and Warneke, J. E., Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge - treated soils, J. Environ. Qual., 17, 568, 1988.

Lexmond, T. M. and deHaan, F. A. M., in Proc. Int. Semin Soil Environ. Fertil. Manage. Intensive Agric, Tokyo, Soc. Sci. Soil Manure, Japan, 1977, 383.

Minnich, M. M., McBride, M. B., and Chaney, R. L., Copper activity in soil solution. II. Relation to copper accumulation in young snapbean plants, Soil Sci. Soc. Am. J., 51, 573, 1987.

Nriagu, A silent epidemic of environmental metal poisoning, Environ. Pollution, 50, 139, 1988.

Page, A. L., personal communication, 1992.

Pierzynski, G. M. and Schwab, A. P., Bioavailability of zinc, cadmium, and lead in a metal contaminated alluvial soil, J. Environ. Qual., 22, 247, 1993.

Pierzynski, G. M., Agronomic Considerations for the Application of a Molybdenum - Rich Sewage Sludge to an Agricultural Soil, M. S. thesis, Michigan State University, East Lansing, MI, 1985.

Pouyat, R. V. and McDonnell, M. J., Heavy metal accumulations in forest soils along an urbanrural gradient in southeastern New York, U.S.A., Water, Air, Soil Pollut., 57 - 58, 797, 1991.

Tsuchiya, K. Environmental Pollution and Health Effects, in Cadmium Press, New York, 1978, 144.

مراجع مساعدة :

Three excellent references fo trace elements in soils are: Adriano, D. C., Trace Elements in the Terrestrial Environment, Springer - Verlag, New York, 1986; Kabata - Pendias, A. and Pendias, H., Trace Elements in Soils and Plants., CRC Press, Boca Raton, FL, 1992; and Adriano, D.C., Ed., Biogeochemistry of Trace Metals, CRC Press, Boca Raton, FL, 1992.

Bar - Yosef, et al., Eds., Inorganic Contaminants in the Vadose Zone, Springer - Verlag, New York, 1989.

Jacobs, L. W., Ed., Selenium in Agriculture and the Environment, Soil Science Society of America, Special Publ. no. 23, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1989.

الفصل الثامن

المواد الكيميائية العضوية فى البيئة

٨ - ١ مقدمة:

لقد ازداد إنتاج المواد الكيميائية العضوية التخليقية مع النمو فى صناعة الإنتاج، بسرعة كبيرة منذ بداية هذا القرن ، وأدت هذه الزيادة إلى إنتاج مواد جديدة محسنة، والتى أصبحت تؤثر بدورها فى أساليب الحياة التى نعيشها. ومن المعروف أن لكل شىء سلبياته وإيجابياته، لذلك أدى الإنتاج المتزايد لهذه المركبات - (حوالى ٦٠ مليون طن مترى يتم تصنيعها سنويا فى الولايات المتحدة وحدها)، واستخدام مركبات عضوية تخليقية (مثل: المبيدات، الشحوم والزيوت، المذيبات، الوقود العادى والوقود الدفعي الذى يتكون من مادة مشتعلة ومادة مؤكسدة) - إلى زيادة عدد الحوادث التى عن طريقها تدخل بالصدفة المواد الكيميائية العضوية فى بيئات الغلاف الجوى، والغلاف المائى، والتربة. ويسهم الإنسان بإدخال كميات هائلة من الكيماويات العضوية إلى البيئة كل يوم. وتعتبر منتجات البترول هى المصدر السائد للهيدروكربونات المنطلقة فى الجو بسبب أنشطة الإنسان، ويرتبط حوالى ٥٠٪ من المواد المنطلقة بانبعاثات الجازولين.

وتوجد الكيماويات العضوية أيضا فى المياه السطحية والجوفية. وقد وجد أن المياه الجوفية تحتوى على نطاق واسع من الكيماويات العضوية والتى قد تكون طبيعية أو ناتجة من الأنشطة البشرية. وفى دراسة للمياه الجوفية بتفويض من الكونجرس الأمريكى، عام ١٩٨٤، تم التعرف على حوالى ١٧٥ مادة كيميائية عضوية طبيعية أو ناتجة عن الأنشطة البشرية موجودة فى المياه. وكثير من هذه المواد العضوية الطبيعية،

مثلها فى ذلك مثل الكائنات الدقيقة الموجودة فى المياه السطحية والمياه الجوفية، تتفاعل مع الكلورين، الذى يشيع استخدامه فى معالجة مياه الشرب، وتنتج ثلاثى هالوميثان، وهو عبارة عن مجموعة من المركبات العضوية الهالوجينية المتطايرة.

ويستخدم حوالى نصف مليون طن مترى من المبيدات فى الولايات المتحدة الأمريكية سنويًا، ويستخدم غالبيتها فى إنتاج المحاصيل لمقاومة الأعشاب الضارة، والحشرات، والأمراض. ويستخدم أيضا حوالى ٢٥٠٠٠ طن مترى فى حالات غير زراعية مثل مقاومة الآفات فى المروج، وأماكن الأزهار فى الحدائق، وملاعب الجولف، والغابات، وفى المجارى المائية وبمحاذاتها، ومناطق المنافع العامة، واستراحات السكة الحديد. وفى حصر للمبيدات فى المياه الجوفية فى الولايات المتحدة (Parsons and Witt , 1988) وجد ٦٧ مبيداً فى ٣٣ ولاية (من إجمالى ٣٥ ولاية اشتركت فى الحصر)، ومع ذلك، تم اكتشاف ١٧ مبيداً فى ١٧ ولاية بمستويات أكبر من المستوى الصحى المنصوح به "HA" من وكالة حماية البيئة الأمريكية. وقد تراوحت نسبة المياه الجوفية التى تعدت المستوى الصحى المنصوح به لأى مبيد من صفر إلى ١ر١٠٪.

ويركز هذا الفصل على الكيماويات العضوية فى بيئة التربة والبيئة المائية مع تركيز خاص على المبيدات.

وتشمل المجالات التى سيتم تغطيتها مايلى:

* التأثيرات العكسية للكيماويات العضوية على الكائنات وصحة الإنسان.
* مصير المبيدات والكيماويات العضوية فى البيئة.
* إستراتيجيات العلاج للأراضى الملوثة والطبقات الصخرية المائية الملوثة.
* إدارة الآفات.

٨ – ١ – ١ مصادر الكيماويات العضوية :

إن دخول الكيماويات العضوية فى البيئة يمكن أن يحدث عن قصد، أو نتيجة حادث، أو عن إهمال. ويوجد عديد من المصادر التى يمكنها أن تسهم فى انطلاق

الكيماويات العضوية فى البيئة؛ فتقوم المواقع الصناعية بتصنيع، وتخزين، وتوزيع أكبر كمية من الكيماويات العضوية، ولذلك تبلغ درجة احتمالية تلويثها للبيئة درجة عالية. ويوضح جدول ٨ – ١ المواقع الصناعية العديدة التى لها القدرة على تلويث المياه السطحية والمياه الجوفية والأراضى. وبالإضافة إلى ذلك، فهناك مصادر أخرى قد تكون سبباً لتلويث البيئة وهى إضافة المخلفات للأراضى، ونواتج عمليات تربية الأبقار، ودفن المخلفات فى الأراضى، .... إلخ. وبالرغم من تأثر جودة المياه الجوفية بالعمليات الطبيعية وأيضا بأنشطة الإنسان، فإن التلوث الكيميائى العضوى يحدث بصفة عامة نتيجة الإدارة غير السليمة التى يمارسها الإنسان.

٨ – ١ – ٢ أقسام المبيدات:

تقسم المبيدات طبقا للكائنات المستهدفة والتى صُنعت لمقاومتها (جدول ٨ – ٢). ومن الكائنات المستهدفة، الأعشاب الضارة التى تسبب أكبر خسارة اقتصادية بسبب تدخلها فى إنتاج المحاصيل. وعلى ذلك، فليس مدهشًا أن تكون مبيدات الأعشاب أكثر المبيدات استخداماً ؛ فهى تتضمن أكثر من ٦٠٪ من المبيدات المستخدمة فى الولايات المتحدة كل عام. وتمثل الحشرات مشكلتنا الكبرى الثانية (بعد الأعشاب)، وهى تستهلك مبيدات حشرية بإجمالى حوالى ٢٥٪. وهناك كمية كبيرة لاستخدام غير مميز للمبيدات الحشرية فى المنازل والمبانى ، والتى شجعت بعض الأفراد على القول بأن هناك كمية معقولة من الأموال تفقد بدون داع ، وتمثل مبيدات الفطريات القسم الثالث الأكثر استخداماً ، وتبلغ حوالى ٦٪.

٨ – ٢ التأثيرات العكسية:

يُعدّ مقدار التأثيرات البيئية السلبية التى تعزى إلى سوء استخدام الكيماويات العضوية أو تعزى إلى الحوادث أمراً مقلقًا ومُهمًا؛ وذلك يرجع إلى الصعوبة فى طرق التنظيف، وكذلك بسبب النتائج المباشرة وغير المباشرة لسوء الاستعمال والحوادث على

جدول ٨ – ١ بعض الأمثلة للمواقع الصناعية التى لها إمكانية تلوث البيئة.

– مصانع الأحماض والقلويات.	– مخلفات الصيدلية ، والروائح ، ومستحضرات التجميل ، وصابون الزينة.
– الأسبستوس.	
– المنتجات الكيميائية.	– البوليمر و التغطية .
– المفرقعات والذخيرة.	– مخازن الخردة .
– أعمال الغاز وتخزينه.	– أحواض السفن .
– معاملة المعادن وتجهيزها .	– صهر المعادن وتنقيتها .
– صناعات التعدين والاستخلاص.	– معالجة مياه الصرف الصحى .
– إنتاج البترول.	– دباغة الجلود .
– تخزين البترول.	– التخلص من المخلفات .
– الدهانات.	– حفظ الأخشاب .
– تصنيع المبيدات.	– مخازن السكة الحديد.

النظم البيئية المحيطة. ويجب توخى الحذر فى عمليات تصنيع وتخزين، ونقل، ومناولة الكيماويات العضوية. وبالتمرين الكافى والاحتياطات اللازمة، فإن كثيرا من أحداث التلوث التى تقع يمكن تفاديها .

وهناك أمثلة عديدة للتأثيرات العكسية الراجعة إلى سوء استعمال المبيدات تستحق الذكر، وهى موجودة بالتفصيل فى المراجع العلمية. ولقد ذكرت دراسات كثيرة عن احتفاظ الأراضى والنظم المائية بالمستويات المتبقية للمبيدات؛ والذى يؤدى إلى سمية المبيد للنباتات والأسماك ؛ كما يُعَدُّ التراكم الحيوى مقلقاً أيضاً، لأنه بمرور الزمن تتراكم المستويات المنخفضة من المبيدات التى يتم امتصاصها أو ابتلاعها ، ويمكن أن تصل إلى مستويات سامة فى الكائن الحى نفسه ، أو فى ذريته ، أو فى كائنات أعلى فى سلسلة الغذاء ؛ فكثير من المبيدات سام للكائنات بخلاف تلك الكائنات المستهدفة التى صنعت لمقاومتها . وعند التركيزات العالية بدرجة كبيرة، فإن معظم

جدول ٨ – ٢ أقسام المبيدات المستخدمة لمكافحة الآفات غير المرغوبة.

المبيد	المكافحة
مبيدات الأعشاب	تمنع نمو الحشائش الضارة فى المحاصيل الزراعية ، والحدائق وملاعب الجولف ، .. إلخ أو المضافة مباشرة إلى الحشائش الضارة النامية.
المبيدات الحشرية	تقتل أو تقاوم الحشرات الضارة أو غير المرغوبة التى تعيش على النباتات ، أو الحيوانات ، أو فى المبانى.
المبيدات الفطرية	تحمى النباتات من غزو الفطر ؛ وتستخدم عادة قبل الظروف المناسبة لنمو المرض.
مبيدات البكتريا	تكافح البكتريا التى تسبب تلف للفواكه أو تسبب قرحة للنباتات.
مبيدات الينماتودا	تحمى جذور النباتات من ديدان التربة الميكروسكوبية التى تمرض النباتات وتتغذى على جذورها.
مبيدات العنكبوت	تقام السوس والعنكبوت أو العثة التى تغزو أو تتلف المحاصيل الزراعية أو نباتات الزينة.
مبيدات القوارض	تقتل الفئران والجرزان التى تعيش فى المنازل والمبانى الأخرى ، وتمنع غزو أو فقد المنتجات الغذائية فى المخازن.

المبيدات المستخدمة يمكن أن تكون سامة للإنسان. إذن أحد أهم الأمور المتعلقة بتطور واستخدام المبيدات هو تحللها البطيء وقدرتها على التراكم فى الكائنات . ومع ذلك ، يمكن القول بكل وضوح أن المبيدات، إذا استخدمت كما ينبغى (بطريقة صحيحة)، يمكن أن تؤدى إلى زيادة فى إنتاج الغذاء أو مقاومة الحشرات التى لها تأثير مُدمّر على جودة حياة الحيوان والإنسان.

٨ - ٢ - ١ أسلوب الفعل الحيوى للمبيدات:

يشير أسلوب الفعل الحيوى للمبيدات إلى الآلية التى بواسطتها يقتل أو يتفاعل المبيد مع الكائنات المستهدفة، وبالاعتماد على أساليب الفعل الحيوى لها، يمكن تقسيم المبيدات إما إلى: مبيدات تلامس أو مبيدات جهازية.

تقتل مبيدات التلامس الكائنات المستهدفة عن طريق إضعاف أو تفتيت الأغشية الخلوية، وبالتالى تؤدى إلى فقد مكونات الخلايا. وإذا أحدث مبيد التلامس تفاعلاً شديداً مع الكائن المستهدف، فقد يحقق بذلك موته السريع لا محالة.

أما المبيدات الجهازية، فيجب أن يمتصها الكائن المستهدف أويبلعها حتى تستطيع هذه المبيدات أن تتداخل مع العمليات الفسيولوجية للكائن (مثل: انقسام الخلية، تكوين الكلورفيل، تطور النسيج) أو العمليات البنائية (مثل: التنفس، نشاط الإنزيم، البناء الضوئى). والمبيدات الجهازية، عامة، بطيئة فى فعلها وقد تتطلب أياماً، أو أسابيع، أو مدة من الزمن أطول من ذلك قبل أن يظهر أثرها.

٨ - ٢ - ٢ التأثير على الكائنات الدقيقة:

يمكن أن يكون للكيماويات العضوية الداخلة فى البيئة تأثير مدمّر على كائنات معينة، والتى قد تكون أوْ لا تكون الهدف المقصود للمركب العضوى. وتحتوى الأراضى والنظم المائية على العديد من الكائنات الدقيقة، ويعتبر كثير منها مفيداً ، ويؤدى حدوث تلوث لهذه الأنظمة البيئية بواسطة الكيماويات العضوية إلى انخفاض النشاط الميكروبى. ويحدث هذا التلوث مثلا عند استخدام تركيزات عالية من المبيدات بطريقة غير سليمة أو عندما تدخل مياه الأمطار السارية على السطح المحتوى على مبيدات إلى المياه السطحية. وبالرغم من ذلك، فقد يحدث فى بعض المواقع تقوية للنشاط الميكروبى.

والاستجابة النظرية للكائنات الدقيقة فى التربة لمبيدات الأعشاب موضحة فى شكل ٨ - ١، وهى ذات علاقة أيضا بالكيماويات العضوية الأخرى بجانب مبيدات

الأعشاب. وتمثل «الإضافة الأولية» فى شكل ٨ - ١ الزمن الأول لاستخدام المبيد. أمّا «الإضافات التالية» فتشير إلى استجابة النظام البيئى إلى الإضافة المستمرة للمبيد. ويمكن تلخيص التأثيرات الأولية لمبيدات الأعشاب كمايلى:

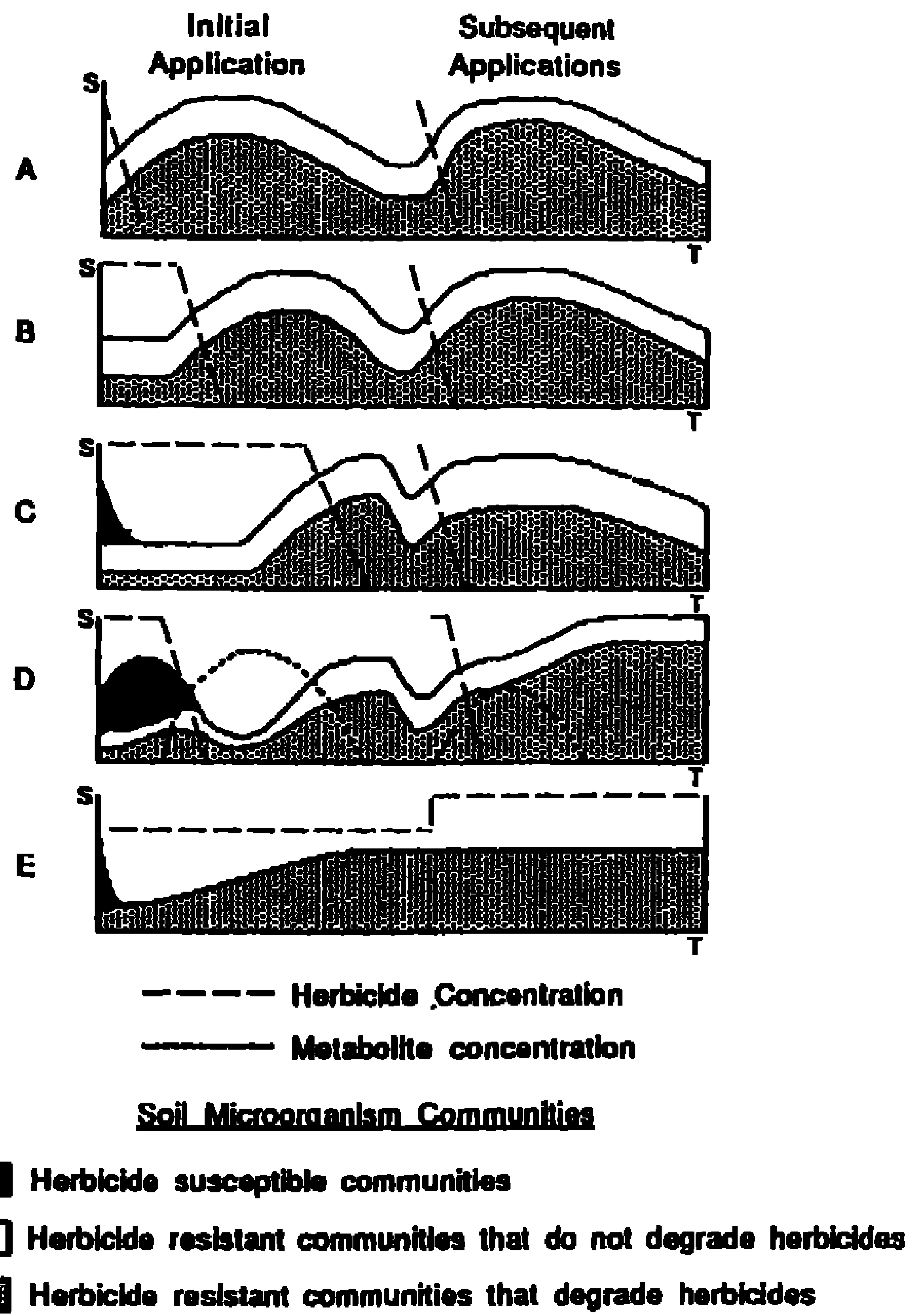
* مبيد A - ليس له تأثير مثبط على الكائنات الدقيقة فى التربة، بل له معدل تحلل سريع، ويُحدث زيادة فى تعداد الميكروبات.
* مبيد B - ليس له تأثير مثبط على الكائنات الدقيقة فى التربة، إنما له معدل تحلل متوسط، ويُحدث زيادة فى تعداد الميكروبات.
* مبيد C - يقتل الكائنات الدقيقة الحساسة فى التربة، ويُحدث زيادة فى الكائنات الدقيقة المحللة للمبيد مع الزمن، وله معدل تحلل بطىء.
* مبيد D - فى البداية يقتل المبيد الكائنات الدقيقة الحساسة، وتتكون مواد ناشئة عن تمثيل المبيد وتمنع نمو كائنات معينة، تقوم الكائنات الدقيقة المقاومة بتحليل المبيد.
* مبيد E - يقتل الكائنات الدقيقة الحساسة، وتزداد الكائنات المقاومة ولكنها لا تُحلّل المبيد.

وبالإضافة التالية للمبيد ، فإن المبيدات C , B , A تتحلل بسرعة ، كما يتحلل المبيد D ونواتج تمثيله بمعدل أسرع، وتتزايد أو تتراكم تركيزات المبيدE بسبب نقص الكائنات المحللة. وما ذكرناه سابقا يعتبر مجرد أمثلة قليلة عن كيفية استجابة النظم البيئية للتربة للمدخلات من الكيماويات العضوية. وفى الحالة القصوى للتلوث فإن تعداد ونشاط الكائنات الدقيقة فى التربة قد ينخفض بدرجة جوهرية إلى الصفر.

٨ - ٢ - ٣ التأثير على النباتات:

تظهر على النباتات الحساسة للمبيدات أعراض سريعة للنمو غير المنتظم، أو فقد فى الكتلة الحيوية، أو الموت. وكما نوقش فى الجزء الأخير بالنسبة للكائنات الدقيقة (شكل ٨ - ١)، فإن النباتات أيضا قادرة على تأسيس مقاومة لمبيدات معينة. وقد

تكون التركيزات العالية من المبيد مطلوبة لتحقيق مستوى مماثل من المقاومة. والمبيدات الأخرى خلاف مبيدات الأعشاب، مثل مبيدات الحشرات، يمكن أن تؤثر أيضا على النباتات التى ليست الكائن المستهدف المتخصص الذى صنع المبيد من أجل مقاومته. ويبين جدول ٨ – ٣ تأثير بعض مبيدات الأعشاب ومبيدات الحشرات على النباتات غير المستهدفة الموجودة داخل بيئات التربة والمياه.



شكل ٨ – ١ الاستجابة النظرية للمجتمعات الميكروبية فى التربة ومعدلات تحلل مبيدات الحشائش (A - E) عبر الزمن. يمثل المحور السينى الزمن، ويمثل المحور الرأسي تركيز المبيد.
(Redrawn from Cullimore , 1971.)

جدول ٨ – ٣ تأثيرات بعض مبيدات الحشائش والمبيدات الحشرية على نباتات غير مستهدفة فى بيئات الأراضى والبيئات المائية.

نوع المبيد	الموقع	التأثير
مبيدات الحشائش: حمض أروماتيك	التربة	تصل تأثيراته المتبقية إلى المحصول التالى ؛ وتضر المبيدات الذائبة (مثل : بكلورام) النباتات المجاورة.
	المياه	يقتل (أويثبط نمو) بعض النباتات المائية.
أميدات ، أناالينات ، نتريلات ، استرات ، كاربامات.	التربة	تصل تأثيراتها المتبقية إلى المحصول التالى.
	المياه	الانجراف السطحى ينقل مبيد الحشائش إلى أجسام المياه.
مبيدات حشرية: أورجانوكلورين.	التربة	تصل تأثيراتها المتبقية فى التربة إلى المحصول التالى ؛ ويؤثر انتقالها إلى المياه السطحية على النباتات المائية.
	المياه	تؤثر المياه الملوثة على جودة المياة للرى وبالتالى على النباتات.
أورجانو فوسفات. كربونات، بيريثرويد.	التربة	فترة بقائها قصيرة ، ولذلك فإن تأثيرها ضعيف على النباتات.
	المياه	سامة لطحالب معينة.

(Madhun and Freed, 1990.)

٨ – ٢ – ٤ صحة الإنسان:

تستخدم المبيدات لمنفعة الجنس البشرى، وذلك لمقاومة الأمراض مثل الملاريا والتيفوئيد، والقضاء على انتشار الأعشاب الضارة التى تخفض من إنتاجية المحصول، ومنع انتشار الحشرات. ومع ذلك، فإن الجرعات العالية لبعض المبيدات يمكن أن تضر

الإنسان. ولقد أوضحت البحوث المعملية أن الجرعات العالية لمبيدات معينة أعطيت لبعض الحيوانات يمكن أن تسبب السرطان، كما تسبب تغيرات وراثية، وأمراضًا عصبية لدرجة تصل إلى الموت. ولقد كانت تركيزات المبيد المعطاة فى هذه التجارب بصفة عامة أعلى من المستويات التى أوصى بها الصانعون فيما يتعلق بالهدف المقصود من تصنيع المبيد. وبالرغم من أن تعرض الإنسان للمبيدات قليل نسبيا (ماعدا فى حالات سوء الاستعمال أو الحوادث)، إلا أنه ينبغى أن نتوخى الحذر باستمرار من التأثيرات الخطيرة للمبيدات. وعلى ذلك، فإنه من الضرورى لأى شخص يعمل فى حقل بالمبيدات أن يتبع التعليمات أو التوجيهات المعطاة له، ويأخذ جميع الاحتياطات من أجل حماية نفسه، وحماية الآخرين، وحماية بيئتنا من التلوث.

٨ – ٢ – ٥ تلوث المياه الجوفية:

تستخدم المياه الجوفية لأغراض عديدة ؛ فمياه الشرب لأكثر من ٥٠٪ من سكان الولايات المتحدة ولحوالى ٩٧٪ من سكان المناطق الريفية تأتى من مصادر مياه جوفية، كما يتم الحصول على حوالى ٤٠٪ من مياه الرى الزراعى أيضاً من مصادر مياه جوفية. ولقد قامت مناقشات كثيرة غاية فى الأهمية فيما يتعلق بمسألة جودة مياه الرى. ولقد اقترحت عدة تعريفات لتحدّد مانعنيه بتلوث المياه الجوفية، غير أن تعريف Miller (عام ١٩٨٠) الذى يقول: «تلوث المياه الجوفية هو تدهور الجودة الطبيعية للمياه الجوفية نتيجة لفعاليات الإنسان»، – وهذا التعريف – يضع اللوم كاملاً وبكل وضوح على الإنسان وسوء استخدامه للبيئة. ويلقى موضوع تلوث المياه الجوفية اهتماماً أكبر فى الوقت الحالى، ومع ذلك، فإن تقدير حجم المشكلة سيكون صعباً للغاية مالم يتم تحديد أو تعريف مصادر الملوثات، ويتم منعها أيضًا من إحداث تلوث للبيئة. ولقد قام مكتب تقويم التقنية بتعريف ٣٣ مصدراً رئيسيًا تسبب تلوثًا للمياه الجوفية، وقد جمّعهم فى ستة أقسام. ويبين جدول ٨ – ٤ الأقسام الستة لمصادر الملوثات التى تم تجميعها على أساس الطبيعة العامة لنشاط الملوث.

٨ – ٣ التنبؤ بمصير المبيدات والكيماويات العضوية الأخرى:

تعتبر التنبؤات المعوّل عليها (الموثوق بها) لحركة ومصير الكيماويات العضوية فى البيئة (شكل ٨ – ٢) مهمة لتقدير تأثير الكيماويات العضوية على بيئتنا. وفيما يخص المبيدات، فإن استخدامها السليم يتطلب معرفة العوامل التى يمكن أن تؤثر فى حركتها ومصيرها، وكذلك أيضا يتطلب معرفة العوامل التى تؤثر فى سلامة الإنسان، وجودة البيئة، وفعالية المبيد. ويمكن أن تتأثر النظم البيئية المحيطة إذا كانت الظروف مساعدة لانجراف المبيد، أو الغسيل، أو سريان ماء المطر على السطح. ويحدد جدول ٨ – ٥ بعض العوامل المرتبطة باستخدام المبيد والتى يمكن أن تؤثر على الجودة البيئية وفعالية المبيد.

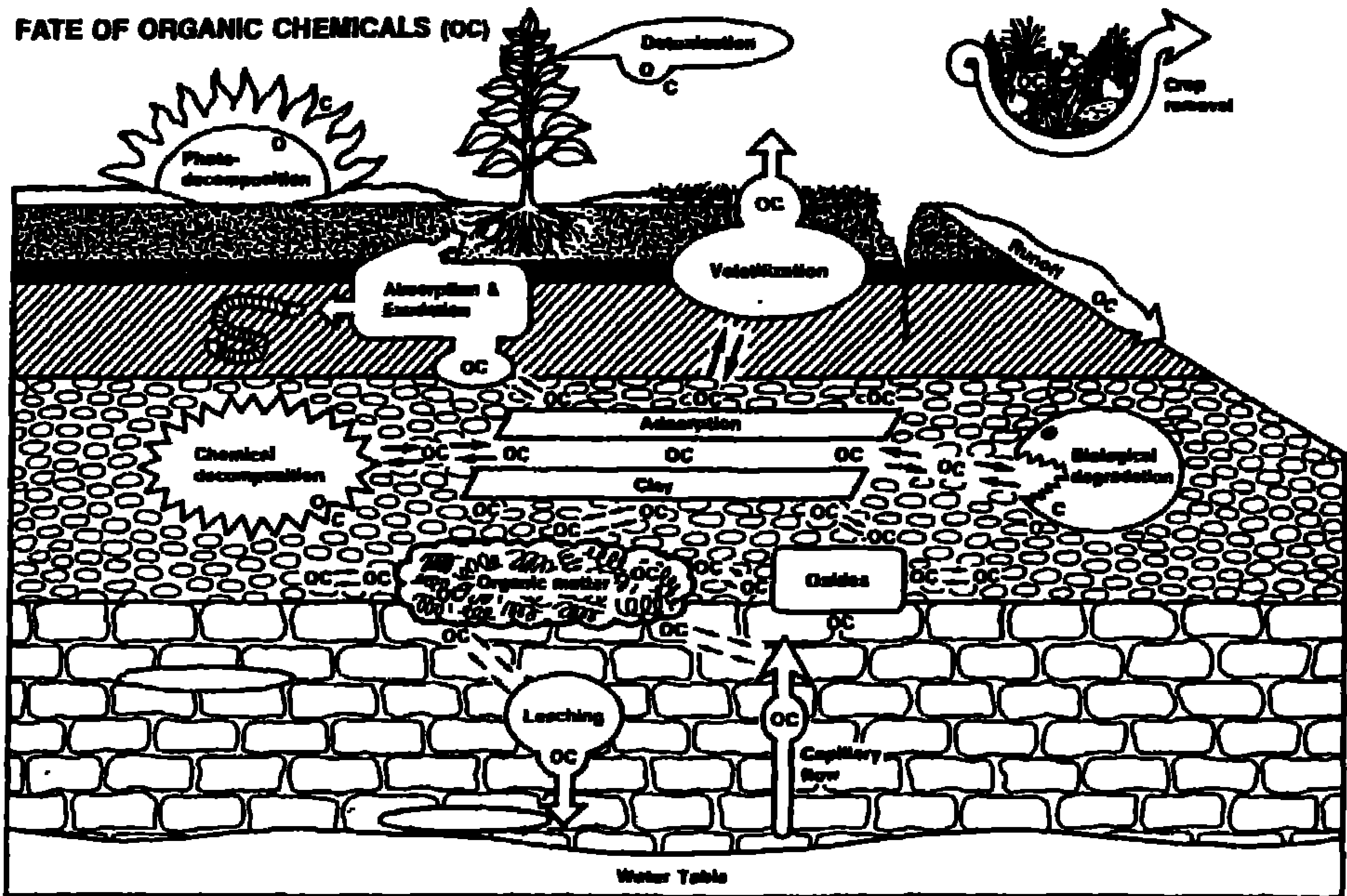
ويتم تقدير حركة أو انتقال الكيماويات العضوية، وتحللها النهائى بعد دخولها فى بيئة التربة بواسطة عمليات كيميائية، وفيزيائية، وبيولوجية. ولكل مركب كيميائى عضوى تركيبه الجزيئى الخاص الذى يقدر – على الأقل جزئياً – الدرجة التى إليها سوف يتفاعل فى البيئة. فتحتوى بعض الكيماويات العضوية مواقع لمجاميع دالة لها شحنة، وهى تشجع فرصة ادمصاصها فى الأراضى؛ فالكيماويات العضوية الموجبة الشحنة تدمص للمواقع السالبة الشحنة على معادن الطين والمادة العضوية فى التربة (راجع الفصل الثانى لمزيد من المعلومات عن خواص التربة). وبعض الكيماويات العضوية قد تبقى فى الأراضى، لفترات طويلة من الزمن عندما تتوقف التحولات الكيميائية والميكروبية بسبب سمية المادة الكيميائية العضوية تحت ظروف بيئية معينة.

ويبين جدول ٨ – ٦ عمليات التحول والتحلل المتحكمة فى حركة ومصير الكيماويات العضوية. ويعتبر الانجراف الفيزيائى مهمًا بصفة عامة أثناء إضافة المبيدات، ولكنه يمكن أن يحدث أيضا فى أوقات الرياح الشديدة أو خلال العواصف المطرة حيث تنجرف المبيدات بعيداً عن المنطقة النباتية. والقطيرات الصغيرة من المبيدات لها قدرة أكبر لكى تُنقل بواسطة فعل الرياح مقارنة بالقطيرات الكبيرة. وتوجد عمليات أخرى ترتبط بما يحدث للكيماويات العضوية عند دخولها فى بيئة التربة ، وسوف نناقش فى الأقسام التالية الكثير من هذه العمليات والخواص الأخرى للكيماويات العضوية التى تؤثر فى مصيرها وانتقالها.

جدول ٨ - ٤ مصادر الكيماويات العضوية التى يحتمل أن تلوث المياه الجوفية والأراضى.

الفئة	المصدر	الوصف
١	التصريف المقصود	خزانات الصرف الصحى والمجارى. آبار الحقن (مخلفات ضارة). الإضافة للأراضى (الحمأة ، مياه المجارى، وهى مخلفات ضارة).
٢	الاحتواء	مدافن ومقالب النفايات. تجمع المياه أو السوائل فى خزانات سطحية. بقايا المخلفات وأكوامها ومحارقها . أماكن دفن الحيوانات. خزانات المياه الجوفية. حاويات التخزين.
٣	النقل	خطوط الأنابيب. السكة الحديد والشاحنات.
٤	التصريف من أنشطة موجهة.	إضافة المبيدات. عمليات تغذية الحيوانات. المياه السارية من المناطق الحضرية. الملوثات الجوية.
٥	انسياب مُحَدث	آبار إنتاج (الزيت والغاز). الحفر فى عمليات الإنشاءات.
٦	طبيعية	تداخلات المياة الجوفية مع المياه السطحية. الأراضى الرطبة. رواسب تحت الأرض (الفحم ، الزيت ، الغاز).

(Office of Technology Assessment,1984.)



شكل ٨ – ٢ مصير الكيماويات العضوية (OC) ، والعمليات الخاصة بها. عمليات التحول والتحلل مرسومة فى الشكل، عمليات التحول لها رسومات OC سليمة، بينما عمليات التحلل لها OC منفصلة. (Weber and Miller, 1989.)

٨ – ٣ – ١ امتصاص النبات:

تُمتص الكيماويات العضوية، مثل مبيدات الأعشاب، بواسطة النباتات إما عن طريق الجذور أو الأجزاء الخضرية فوق سطح الأرض. ويعتمد الامتصاص على نوع المركب الكيميائى العضوى وعلى أصناف النبات. والبذور قادرة أيضا على ادمصاص الكيماويات العضوية، التى يمكن أن تحدث إما قبل أو بعد إنبات البذرة. وادمصاص الكيماويات العضوية على السطح الخارجى للبذور يزيد فرصة الامتصاص، والتى يمكن أن تحدث بواسطة عمليات غير بنائية عندما تكون البذور متشربة الماء أو من خلال عمليات الانتشار. والعوامل المؤثرة فى امتصاص البذرة للكيماويات العضوية لها

جدول ٨ – ٥ تأثير قرارات إدارة المبيدات على كل من الجودة البيئة وفعالية مكافحة الآفات.

إدارة المبيد	التأثيرات	
	الجودة البيئية	مكافحة الآفة
نوع المبيد.	ادمصاص عالى – غسيل منخفض تحلل سريع – لاينتقل. سمية – تحدد التركيز الأقصى المسموح به فى المياه.	تتوقف فعالية المكافحة على المبيد نفسه.
نوع الإضافة.	الدمج فى التربة – فرصة أكبر لتلوث المياة الجوفية. الإضافة إلى سطح الأرض – تقلل خطر انجراف المبيد.	قرب المبيد من الكاذ المستهدف يعزز سمية المبيد للكائن المستهدف. ظروف التربة الرطبة قد تعوق الزمن الأمثل للإضافة.
تقنية الرش.	القطيرات الكبيرة – تقلل الانجراف الفيزيائى.	قد تقلل أيضاً الكفاءة.
توقيت الإضافة.	قريب من وقت سقوط الأمطارأو وقت الرى – يزيد فرصة تلوث المياه الجوفية.	تتوقف فعالية المبيد على التوقيت المناسب.
برنامج الرى.	الرى المخطط – يقلل احتمال تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية	التغيرات فى رطوبة التربة قد تؤثر فى الآفة.
ممارسات الحرث.	الحرث البسيط – يقلل سريان مياة الأمطار ، يتطلب مستويات زائدة من المبيد ، زيادة خطر غسيل المبيد أو انجرافه	تزداد كثافة الآفة وهذا يتطلب كميات إضافية من المبيد.
طرق الإضافة السليمة.	سقوط المبيد أو سوء استخدامه – يُزيد تلوث المياه والأراضى.	ليس له تأثير سلبى على مكافحة الآفة.

(Shoemaker, 1989.)

جدول ٨ – ٦ حركة ومصير الكيماويات العضوية فى البيئة، مع إشارة خاصة إلى المبيدات .

العملية	النتيجة	العوامل
عمليات التحول أو الانتقال (وهى التى تنتقل فيها الكمياويات العضوية إلى مكان جديد بدون تغيير فى تركيبها الكيميائى):		
الانجراف الفيزيائى.	حركة الكيمياويات العضوية بسبب فعل الرياح.	سرعة الرياح ، حجم القطيرات ، المسافة.
التطاير.	فقد المركب العضوى بسبب التبخير من التربة والنبات أو من النظم المائية.	ضغط البخار ، سرعة الرياح ، درجة الحرارة.
الادمصاص.	إزالة المركب العضوى عن طريق تفاعله مع التربة ، والنبات، والرواسب.	نسبة الطين، نسبة المادة العضوية، نوع معادن الطين، الرطوبة.
الامتصاص.	امتصاص المركب العضوى بواسطة جذور النبات أو الابتلاع بواسطة الحيوانات.	الانتقال عبر أغشية الخلية، زمن التلامس، الحساسية.
الغسيل.	انتقال المركب العضوى فى الاتجاه الجانبى أو لأسفل خلال التربة.	نسبة الرطوبة ، المسام الكبيرة ، قوام التربة ، الطين ، نسبة المادة العضوية.
الإزالة.	انتقال المركب العضوى بفعل المياه أو الرياح.	سقوط المطر، سرعة الريح، حجم الطين، حبيبات المادة العضوية وما عليها من كيماويات عضوية.
عمليات التحلل (وهى التى تُغيِّر التركيب الكيميائى):		
كيميائية – ضوئية.	تكسر الكيماويات العضوية بسبب ادمصاص أشعة الشمس (فوق البنفسجية).	التركيب الكيميائى للمركب، كثافة وطول مدة أشعة الشمس، التعرض.
ميكروبية.	تحلل بفعل الكائنات الدقيقة (راجع الفصل الثانى – عن الكائنات الدقيقة فى التربة).	عوامل بيئية (pH، الرطوبة، درجة الحرارة)، حالة العنصر الغذائى، نسبة المادة العضوية.

كيميائية	تغير المركب العضوى بفعل عمليات كيميائية مثل التحلل المائى وتفاعلات التأكسد والاختزال.	pH المرتفع والمنخفض، نفس عوامل التحلل الميكروبى.
الأيض	تحولات كيميائية للمركب العضوي بعد امتصاصه بواسطة النباتات أو الحيوانات.	القابلية للامتصاص، عمليات البناء والهدم للكائن، التفاعلات مع الكائن.

(Marathon - Agricultural and Environmental consulting, Video Cassettes - Fate of Pesticides in Environment, 1992.)

علاقة بخواص المركب الكيميائى العضوى (التركيز، البناء، الذوبان، معدل الانتشار)، والتربة (درجة الحرارة، ورقم الحموضة)، والبذرة (الحجم، الخواص، غلاف البذرة).

وتستطيع النباتات أيضًا امتصاص الكيماويات العضوية عن طريق الأجزاء الخضرية فوق سطح الأرض، التى تشمل السيقان، والبراعم، والأوراق. ولوحظ أن النباتات الخشبية المعمرة والغضة تمتص مبيدات الأعشاب عن طريق سيقانها. وتعتبر البراعم هى الهدف الأساسى لتلامس مبيدات الأعشاب ؛ حيث إن دخول مبيد الأعشاب فى البرعم يسبب بصفة عامة موت النبات. وتمتص الأوراق الكيماويات العضوية من كل من سطح الورقة العلوى والسفلى، إلا أن الامتصاص يكون غالبًا أسرع خلال السطوح السفلية ؛ لأن الكيوتيكل لها رقيق بدرجة أكبر ، وتدخل الكيماويات العضوية غير القطبية إلى داخل الأوراق بسهولة وبسرعة أكثر من الكيماويات العضوية القطبية ، ويعتقد أن آلية الدخول بالنسبة للمحاليل المائية والزيتية تتبع مسارات مختلفة.

وتُمتص كثير من الكيماويات العضوية بسرعة وبسهولة عن طريق الجذور والأجزاء الخضرية وتنتقل خلال النباتات داخل نظامين – السمبلاست (النسيج الحى)، والأبوبلاست (النسيج غير الحي). وتتعرض الكيماويات العضوية الداخلة فى نظام السمبلاست (الحى) لإنزيمات كثيرة قادرة على التفاعل مع الكيماويات العضوية. ومن ناحية ثانية، فإن السمبلاست مغلّف بواسطة الأبوبلاست ، وهذا يمنع التلامس المباشر

بين الكيماويات العضوية والنسيج الحى للسمبلاست. ويتكون نظام الأبوبلاست (غير الحى) من جدران الخلايا والزيلم (نسيج الخشب) اللذين يكونان قصبة متصلة مترابطة خلال النبات. ويمكن للمبيدات السامة والكيماويات العضوية الأخرى أن تنتقل من خلال الأبو بلاست لمسافات قصيرة وطويلة فى داخل النباتات.

وفى اللحظة التى يتم فيها امتصاص الكيماويات العضوية بواسطة النباتات تحدث تفاعلات عديدة بموجبها يتحول المركب الكيماوى العضوى. فعلى سبيل المثال، النباتات التى تستطيع امتصاص مبيدات الأعشاب قادرة على أن تُحوّل (أى تقوم بتمثيلها بنائيا) هذه المبيدات إلى مستويات غير سامة للنبات بواسطة واحد أو أكثر من التفاعلات التالية:

التأكسد – الاختزال، أو التحلل المائى، أو تكوين هيدروكسيلات، أو نزع الهالوجين، أو نزع الألكيل، أو الاقتران، أو الأكسدة فى الوضع بيتا.

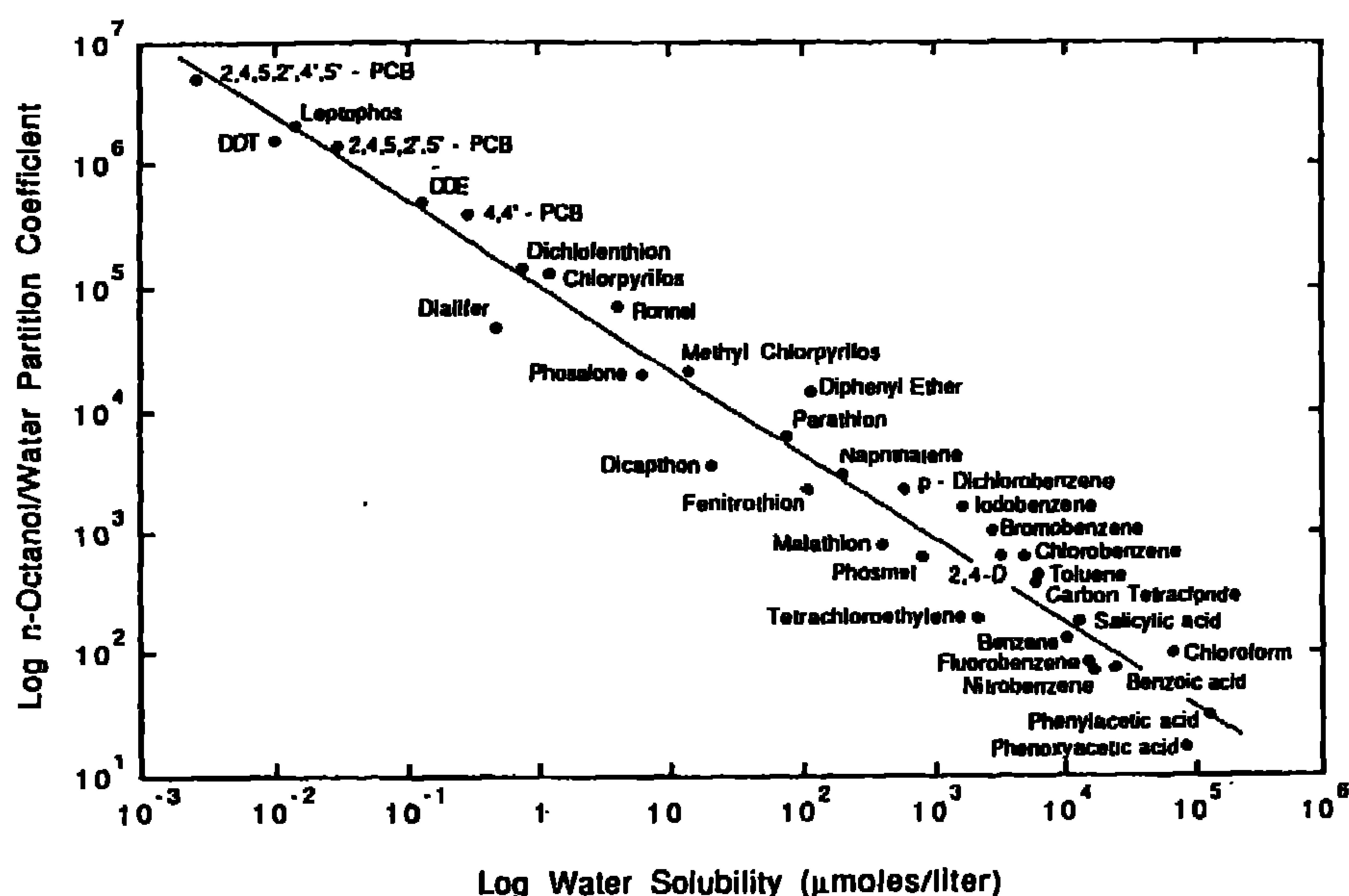
وكل واحد من هذه التفاعلات يُغيّر المبيد من الناحية البنائية لدرجة أن طبيعته الكيميائية تصبح مختلفة. وبالرغم أن النباتات مشابهة للكائنات الدقيقة، والحشرات، والثدييات فى مقدرتها على تمثيل الكيماويات العضوية، فإن معدلات التمثيل (التحول) فى النبات تعدّ بطيئة بصفة عامة.

٨ – ٣ – ٢ الذوبان:

إن ذوبان المركب العضوى مهم بالنسبة لمصيره وحركته ؛ لأن المركبات العالية الذوبان تميل إلى أن تتوزع داخل بيئة التربة وبيئة المحيط المائى ، ويتم تقدير **الذوبان المائى** للكيماويات العضوية على أساس الكمية الكلية التى تذوب فى الماء النقي عند درجة حرارة معينة ، وعندما يتم تجاوز (تعدًى) الذوبان المائى للمركب العضوى، فإن الطور الصلب للمركب العضوى سوف يوجد بالإضافة إلى المحلول المائي. وعادة يقع ذوبان الكيماويات العضوية الشائعة فى المدى ١ ——— ١٠٠٠٠٠مجم/ كجم (وزن

المركب العضوى لكل وزن من الماء النقى) ، ومع ذلك فللكثير من هذه المركبات ذوبان أعلى من ذلك. والفرق بين أقل مركب عضوى ذائب وأعلى مركب ذائب آخر حوالى واحد بليون (انظر شكل ٨ – ٣ الخاص بمدى ذوبان هذه المركبات).

ويعتبر ذوبان الكيماويات العضوية فى الماء دالة لدرجة الحرارة، ورقم الحموضة، والقوة الأيونية (تركيز الأملاح الذائبة)، والكيماويات العضوية الأخرى مثل الكربون العضوى الذائب (DOC)، وتصبح الكيماويات العضوية أكثر ذوبانا بزيادة درجة الحرارة، بالرغم أن العكس صحيح بالنسبة لبعضها. ويزداد عادة ذوبان أنواع معينة من الكيماويات العضوية مثل الأحماض العضوية مع زيادة رقم الحموضة، فى حين تسلك القواعد العضوية سلوكاً عكسياً. وتؤدى الأملاح الذائبة فى الغالب إلى خفض ذوبان الكيماويات العضوية، وهذا يفسر لماذا تكون الكيماويات العضوية أقل ذوبانًا فى المحيطات عنها فى المياه العذبة. ولقد أوضحت دراسات عديدة أن هناك



شكل ٨ – ٣ العلاقة بين معامل التجزئ أوكتانول – ماء (K_{OW}) والذوبان للكيماويات العضوية المختلفة. لاحظ المدى المكثف والمتدخلات للكيماويات العضوية. (Chiou et al., 1977.)

زيادة عادة فى نوبان كثير من الكيماويات العضوية الفقيرة النوبان فى الماء مع المستويات الأعلى للكربون العضوى الذائب. وأصبح واضحًا أنه يوجد تفاعل بين الكربون العضوى الذائب والكيماويات العضوية ممّا يشجع نوبانها.

وتستخدم طرق متنوعة لتقدير نوبان الكيماويات العضوية ، وتوجد طريقتان تستخدمان بكثرة لذلك الغرض، وتعتمدان على: (١) التركيب الكيميائى، (٢) معامل التجزئة: أوكتانول / ماء. ولقد طورت الطريقة السابقة لتقدير النوبان المائى لمجموعات خاصة من المركبات مثل الهيدروكربونات الأليفاتية والأروماتية. كما توجد كمية كبيرة من النتائج الميسرة عن العلاقة بين النوبان المائى ومعامل التجزئة: أوكتانول/ ماء. ويتم تقدير **معاملات التجزئة: أوكتانول / ماء** (K_{ow}) بواسطة المعادلة التالية:

$$(K_{ow}) = \frac{\text{تركيز المركب العضوى فى الأوكتانول (مجم)}}{\text{تركيز المركب العضوى فى الماء (مجم)}} \quad \ldots\ldots (٨ - ١)$$

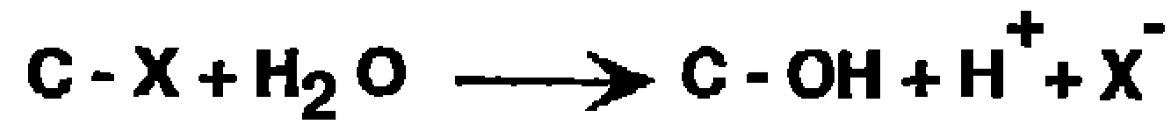
والعلاقة بين النوبان فى الماء، K_{ow} موضحة فى شكل ٨ - ٣. وكما يتضح من الشكل، توجد علاقة عكسية بين النوبان فى الماء، K_{ow}.

٨ - ٣ - ٣ نصف فترة الحياة:

تشير نصف فترة الحياة ($T1_{/2}$) لأى تفاعل إلى كمية الزمن اللازمة لكى يتحول نصف المادة المتفاعلة إلى ناتج تفاعل أو تشير إلى الزمن اللازم لكى يصبح تركيز المادة المتفاعلة نصف تركيزها الابتدائى. وبالنسبة للكيماويات العضوية، فإن أنصاف فترة الحياة يمكن حسابها لأنواع مختلفة من التفاعلات مثل: التطاير، والتحلل الضوئى (التحلل بواسطة ضوء الشمس)، واحتمال الغسيل (خواص الادمصاص - الانطلاق)، والتحلل (الكيماوى والميكروبى). وتعتبر قيم أنصاف فترة الحياة غاية فى الأهمية لفهم التأثير البيئى المحتمل لمركب عضوى معين. فعلى سبيل المثال، لو وقع ملوث عضوى عالى السمية فى بحيرة بسبب حادث، وكان معدل التحلل الضوئى سريعًا (نصف فترة الحياة صغيرة)، فإن النتائج ستكون فى أدنى مستوى لو كانت نواتج التحلل الضوئى

غير ضارة. ولكن، إذا وقع ملوث متوسط السمية، ومعدل تحلله الضوئى بطيء جدا (نصف فترة الحياة كبيرة)، فإن التأثير البيئى حينئذ سيكون كبيرا. ويمكن استخدام هذه الطريقة أيضا كمثال لتقدير التأثيرات البيئية المرتبطة بالتطاير، واحتمال الغسيل، وخواص التحلل للكيماويات العضوية المختلفة.

ويوضح شكل ٨ – ٤ مدى قيم أنصاف فترة الحياة للتحلل المائى لمجموعات عديدة من الكيماويات العضوية. وتشمل تفاعلات التحلل المائى التحولات الكيميائية بين المركب العضوى والماء، والذى ينتج عنه كسر رابطة واحدة، ويتكون فى نفس الوقت رابطة كربون – أكسجين جديدة مثل:



$$C - X + H_2O \longrightarrow C - OH + H^+ + X^-$$

ويعتبر التحلل المائى أحد أهم التفاعلات المهمة التى تقدر مصير الكيماويات العضوية فى البيئات المائية. ولا يحدث تحلل مائى لجميع الكيماويات العضوية ؛ لأن كثيراً منها لا تمتلك مجاميع فعالة حساسة لتفاعلات التحلل المائى (جدول ٨ – ٧). وتعتمد تفاعلات التحلل المائى أيضا وبصفة عامة على رقم الحموضة pH.

٨ – ٣ – ٤ التطاير:

يعتبر تطاير الكيماويات العضوية الطبيعية والمخلقة هو المسئول عن انتقال الكيماويات العضوية من البيئة المائية والتربة إلى الغلاف الجوى. وتعتبر المعلومات عن معدل تطاير هذه الكيماويات العضوية مهمة من أجل فهم استمرار هذه المركبات فى البيئة.

وتعتمد العوامل التى تؤثر فى تطاير الملوثات من المياه على الخواص الكيميائية والفيزيائية للمركب العضوى (مثل: الذوبان والضغط البخارى)، والتفاعلات مع المواد المعلقة والرواسب، والخواص الفيزيائية لجسم المياه (العمق، السرعة، الهيجان أو الاضطراب)، وخواص السطح البينى للغلاف المائى. ويختلف معدل التطاير، معبراً عنه كنصف فترة الحياة، من ساعات إلى سنوات أو أكثر. فأنصاف فترة الحياة لتطاير

Epoxides
n = 14

Allyl and
Benzyl Halides
n = 9

Phosphoric Acid,
Thiophosphoric Acid
Esters n = 6

Alkyl Halides
n = 13

Phosphonic Acid Halides,
Dialkylphosphorohalides
n = 13

Alkyl Halides
n = 13

Aliphatic Acid Esters
n = 18

Aromatic Acid Esters
n = 21

Polyhalo Methanes
n = 10

Amides
n = 12

Carbamates
n = 18

Phosphonic Acid Esters,
Dialkylphosphonates
n = 6

0.69 s | 1.25 min | 1.9 hr | 8 days | 2.2 yr | 2.2×10^2 yr | 2.2×10^4 yr | 2.2×10^6 yr

Half-life

● Average
▷ Median
n No. of Compounds Represented

شكل ٨ – ٤ أنصاف فترة حياة التحلل المائى لجاميع عديدة من الكيماويات العضوية.

(Harris , 1982 a and Mabey and Mills ,1978.)

جدول ٨ – ٧ أمثلة للمجاميع العضوية الفعالة (الوظيفية) المقاومة أو الحساسة للتحلل المائي.

المقاومة	الحساسة
ألكان ، ألكين ، ألكاين.	– هاليدات ألكيل.
بنزين ، ثنائي الفينيل.	– أمبيدات.
هيدروكربون عديد الأرومات.	– أمينات.
أرومات هالوجينية ، PCBs.	– كارباماتت.
داى الدرين ، ألدرين ، مبيدات	– استرات حامض كربو كسيليك.
الهيدروكربون الهالوجينية.	– إيبوكسيدات.
أمينات أروماتية.	– نتريلات.
كحولات.	– استرات حمض الفوسفوريك.
جليكول.	– استرات حمض فوسفونيك.
إثيرات.	– استرات حمض سلفونيك.
ألدهيدات.	– استرات حمض كبرتيك.
كيتونات.	
أحماض كربو كسيليك.	

(Harris , 1982 a.)

مركب ثلاثي كلورو إثيلين (TCE) والمبيد داى إلدرين من الماء قُدِّرت على أنها من ٣ – ٥ ساعات لـ TCE وحوالي سنة للداى إلدرين ، ويبين جدول ٨ – ٨ بعض الكيماويات العضوية الإضافية وتطايرها المحتمل من الماء.

وتشمل العوامل المؤثرة على تطاير الكيماويات العضوية من الأراضى الخواص الفيزيو كيميائية الجوهرية لهذه المركبات (مثل: الضغط البخارى، الذوبان، تركيب وطبيعة المجموعات الفعالة، خواص الادمصاص – الانطلاق)، والتركيز، وخواص التربة (محتوى التربة من الرطوبة، المسامية، الكثافة، محتواها من المادة العضوية والطين)، وعوامل بيئية (درجة الحرارة، الرطوبة، سرعة الرياح). وتعتبر الخطوة الأولى فى تطاير الكيماويات العضوية من الأراضى هى قدرتها على التطاير، والتى تمثل التغير من الحالة الصلبة أو السائلة إلى الحالة الغازية. وبعد التبخير، يتحرك البخار خلال التربة وينتشر فى الغلاف الجوى بواسطة الانتشار أو الاضطراب (الدوامات). وأظهرت القياسات المعملية والحقلية لأنصاف فترة حياة التطاير لمبيدات عديدة أنها تتراوح من ٧ر٠ – ٠ ر٣ أيام لمبيد اللندان إلى ٤٢، ٤٥ يوم لمبيد د.د.ت، مبيد الأترازين على الترتيب.

٨ – ٣ – ٥ التحلل الضوئى:

تعتبر التفاعلات الكيميائية الضوئية المشتملة ضوء الشمس فى غاية الأهمية فيما يتعلق بتقدير مصير الملوثات فى البيئات المائية، وقد تلعب هذه التفاعلات أيضًا دورًا فى تحلل الكيماويات العضوية عند سطح التربة. وفى البيئات المائية، يحدث التحلل المائى عن طريق عمليات مباشرة أو غير مباشرة. وفى التحلل الضوئى المباشر، فإن ضوء الشمس يُمتص مباشرة بواسطة المركب العضوى، وينتج عن ذلك تحول كيميائى. ويعتمد معدل التحلل الضوئى المباشر على شدة ضوء الشمس وصفات الطيف المتداخل للإشعاع الشمسى والمركب العضوى. أما بالنسبة للتحلل الضوئى غير المباشر، فتوجد مواد أخرى مثل الكربون العضوى الذائب، أو معادن الطين، أو عناصر غير عضوية تمتص ضوء الشمس ، وهى إما تستهل سلسلة تفاعلات تؤدى فى نهايتها إلى تحول المركب العضوى أو تنقل طاقة الإثارة إلى المركب العضوى.

ويمتص أوزون الغلاف الجوى الإشعاع الشمسى الذى طول موجته أقل من ٢٩٠ نانو متر nm. وعلى ذلك، فالتحلل الضوئى المباشر بواسطة ضوء الشمس

جدول ٨ – ٨ أمثلة لبعض الكيماويات العضوية وقدرتها على التطاير من الماء.

قدرة التطاير	المركب الكيميائى العضوى	نصف فترة الحياة ($t_{1/2}$)
منخفضة.	داى إلدرين	٣٢٧ يوم
	٣ برومو- ١ – بروبانول	٣٩٠ يوم
متوسطة.	بيتا نثرين	٣١ ساعة
	بنتا كلورا فينول	١٧ يوم
	د . د . ت	٤٥ ساعة
	ألدرين	٦٨ ساعة
	لندان	١١٥ يوم
مرتفعة.	بنزين	٢ر٧ ساعة
	تولوين	٢ر٩ ساعة
	أو – زيلين	٣ر٢ ساعة
	كربون تترا كلوريد	٣ر٧ ساعة
	ثنائى الفينيل	٤ر٣ ساعة
	تراى كلورو إثيلين	٣ر٤ ساعة

(Thomas , 1982.)

لا يحدث فى حالة إذا كان المركب العضوى محل السؤال لا يمتص إشعاع بطول موجى أعلى من ٢٩٠ نانو متر. وتقدر شدة ضوء الشمس التى تصل سطح الأرض عن طريق سمك الغلاف الجوى وزاوية سقوط الاشعاع ، وهى تعتمد على خط العرض، والفصل من السنة، والوقت من اليوم ، وتكون شدة ضوء الشمس أكبر مايمكن فى الصيف وأقل مايمكن فى الشتاء.

وتتراوح أنصاف فترة الحياة للكيماويات العضوية التى يحدث لها تحلل ضوئى فى البيئات المائية بصفة عامة من ساعات إلى شهور ، ويوضح جدول ٨ – ٩ قيم أنصاف فترة حياة التحلل الضوئى للمبيدات، والهيدروكربونات الأروماتية عديدة الحلقات، وبعض المركبات المتنوعة. وعلى خلاف البيئات المائية، فإن تفاعلات التحلل الضوئى فى الأراضى من الصعب تقديرها؛ وذلك بسبب الطبيعة المختلفة للأراضى والنقص فى اختراق الضوء فيها. ومبدئيا، يُعد التحلل الضوئى ظاهرة سطحية، وهو يتوقف نهائيا إذا اندمج المركب الكيميائى فى التربة.

٨ – ٣ – ٦ الادمصاص – الانطلاق:

يعتبر سلوك الادمصاص – الانطلاق للكيماويات العضوية أهم عملية موثرة فى الملوثات العضوية. ويعتبر فهم التفاعلات التى تحدث بين الأراضى أو الرواسب والملوث العضوى عند دخوله التربة والبيئة المائية مهمًا فى تقدير سلوك الملوث، ومن ثمَّ فى تقدير حركته ومصيره فى البيئة. وتتطلب النماذج الرياضية التى تتنبأ بمصير الملوث وانتقاله معلومات موثقة عن سلوك الملوثات بخصوص الادمصاص – الانطلاق تحت ظروف مختلفة. ويحدث ادمصاص الكيماويات العضوية بواسطة الطين والمادة العضوية عن طريق واحد أو أكثر من التفاعلات التالية: قوى ڤان درڤالس، و/ أو روابط هيدروجينية، تفاعل ثنائى القطبية – ثنائى القطبية، التبادل الأيونى، تكوين روابط تساهمية، تكوين بروتونات، تبادل روابط شبه تساهمية، تكوين قناطر كاتيونية، تكوين قناطر مائية، و /أو تجزئ (فصل) للمادة الكارهة للماء.

جدول ٨ – ٩ أنصاف فترة الحياة لكيماويات عضوية عديدة تقوم بعمل تحليل ضوئى مباشر.

القسم	المركب الكيميائى العضوى	نصف فترة الحياة (t 1/2)
مبيدات	تراى فلورالين	~ ١ ساعة
	ملا ثيون	١٥ ساعة
	كارباديل	٥٠ ساعة
	سيفين	١١ يوم
	ميثوزيكلور	٢٩ يوم
	٢,٤ – د ، ميثيل استر	٦٢ يوم
	ميركس	١ سنة
هيدروكربون	بيرين	٠ر٧ ساعة
أروماتى	بنز (a) أناثرا سين	٣ر٣ ساعة
عديد الحلقات	فينا نثرين	٨ر٤ ساعة
	فلورانثين	٢١ ساعة
	نافثالين	٧٠ ساعة
متنوع	بنز (f) كوينولين	١ ساعة
	كوينولين	٥ – ٢١ يوم
	P – كريزول	٣٥ يوم

(Harris , 1982 b.)

وقد وجد أن ادمصاص كثير من الملوثات بواسطة الأراضى والرواسب وسيلة فعالة لتخفيض أو تقليل حركتها. ويمكن أن يؤثر أيضا الادمصاص على النشاط الحيوى، والاستمرار، والقابلية للتحلل البيولوجى، والقابلية للغسيل، والتطاير للكيماويات العضوية ، كما أن نوع وطبيعة المجاميع الفعالة على المركب العضوى تُحدّد بدرجة كبيرة قدرته على أن يدمص. وفى الأراضى، تعتبر سطوح الطين وأكاسيد الفلزات والمادة العضوية هى المواد السائدة المسئولة عن ادمصاص الملوثات العضوية، كما يمكن أن تعمل سطوح الطين كمصدر لمواقع الادمصاص لأحد الملوثات، وهذا بالتالى يمكن أن يؤثر على ادمصاص باقى الملوثات. وقد ناقشنا فى القسم ٨ – ٤ – ٤ مثالاً يوضح طريقة احتواء الملوثات.

وتم عمل نماذج رياضية للتعبير عن ادمصاص الكيماويات العضوية بواسطة الأراضى باستخدام معادلات الادمصاص. ويتم وصف بيانات الادمصاص فى الغالب باستخدام إما معادلة فرندلتش أو معادلة لا نجمير، بنفس طريقة استخدامها بالنسبة للفوسفور فى الفصل الخامس.

معادلة فرندلتش:

$$x / m = KC^{1/n} \qquad (8 - 2)$$

حيث:

x/m = كتلة المركب العضوى المدمص لكل وحدة وزن من التربة.

n , k = ثوابت تجريبية.

C = تركيز المركب الكيميائى عند الاتزان.

وتعتبر قيمة K مقياس لدرجة الادمصاص. ويمكن الحصول على الصورة الخطية لمعادلة فرندلتش عن طريق التحويل اللوغاريتمى كما يلى:

$$\log (x/m) = \log K + 1/n \log C \qquad (8 - 3)$$

وإن وضع $\log (x/m)$ ضد $\log C$ يجب أن يعطى خطاً مستقيماً له ميل = $1/n$ ، قاطع $\log K$.

معادلة لا نجمير:

$$x/m = Kb\, C / (1 + K\, C) \qquad (8 - 4)$$

حيث:

$C, x/m$ = نفس تعريفها سابقا .

K = ثابت الادمصاص وهو يرتبط بقوة الارتباط.

b = الكمية العظمى من المركب العضوى التى يمكن أن تدمص بواسطة التربة.

الصورة الخطية لمعادلة لا نجمير هى:

$$C / (x/m) = 1/Kb + C/b \qquad (8 - 5)$$

إذا كان رسم $C / x/m$ فى مقابل C يعطى خطًا مستقيمًا ، إذن بيانات الادمصاص تطابق معادلة لا نجمير، ويمكن حساب b من الميل، K من القاطع. وتمثل المعادلتان ٨ – ٢، ٨ – ٤ الصورة العامة لكل من معادلتى فرندلتش، لا نجمير على الترتيب. والمعادلتان ٥ – ١، ٥ – ٢ هما نفس المعادلتين هنا فيما عدا أن المتغيرات قد كتبت بالتحديد لعنصر الفوسفور.

وبالنسبة لكثير من الكيماويات العضوية، وبالأخص الأنواع غير القطبية، يمكن حساب ثابت الادمصاص وهو ثابت نسبيًا، ولا يعتمد على نوع التربة، ولكنه خاص ومميز للمركب العضوى المستخدم ، ويتم حساب الثابت باستخدام ثابت فرندلتش K ونسبة الكربون العضوى فى التربة (%OC).

$$K_{oc} = (K / \% OC) \times 100 \qquad (8 - 6)$$

الثابت K_{oc} فى جوهره هو المعامل الذى يصف توزيع المركب العضوى بين الطور المائى وطور المادة العضوية فى التربة. وحيث أنه ثابت نسبيا، فإن قيم K_{oc} تستخدم فى الغالب للتنبؤ بقيم K للأراضى المعروف فيها نسبة الكربون العضوى، وقيمة K تحدد بالتالى توزيع الملوث بين التربة والماء.

٨ – ٣ – ٧ التحولات الحيوية وغير الحيوية :

تُعد كل من التفاعلات الحيوية وغير الحيوية، بمفردها أو معًا، هى المسئولة عن تحولات الكيماويات العضوية فى التربة والبيئة المائية. وتحت ظروف معينة تسود

التفاعلات غير الحيوية، بينما تحت ظروف أخرى تسود التفاعلات الحيوية. ويحدث تحلل الكيماويات العضوية غالبا بواسطة عمليات حيوية، ومع ذلك، فإن التفاعلات غير الحيوية قد تحدث فى نفس الوقت. وكثير من تحولات المركب العضوى تحدث بواسطة الميكروبات، ولكن التفاعل الحقيقى (الفعلى) عملية غير حيوية.

وتشمل تفاعلات التحولات غير الحيوية الأساسية التى تحدث فى البيئات المائية **التحلل المائى، والتأكسد – الاختزال، والتحلل الضوئى**؛ أما فى الرواسب فيسود التحلل المائى وتفاعلات التأكسد والاختزال. وتفاعلات التأكسد التى تحدث فى البيئات المائية يمكن أن يتوسطها تفاعلات التحلل الضوئى المباشر أو غير المباشر، التى تعتمد على المركب العضوى والمواد المخمرة الموجودة ، ويمكن أن تحدث الأكسدة غير الضوئية مباشرة بواسطة الأوزون، أو بواسطة الخواص التحفيزية لمعادن معينة. ويمكن أيضا تحفيز الاختزال غير الحيوى للكيماويات العضوية بواسطة معادن معينة، أهمها الحديد والمنجنيز. وتتبع تفاعلات التأكسد والاختزال فى الرواسب الطريق نفسه الموضح بالنسبة للأراضى.

وفى الأراضى تحدث التحولات غير الحيوية فى الطور السائل (محلول التربة) وعند السطح البينى الفاصل صلب – سائل . وفى المحلول الأرضى، يعتبر التحلل المائى وتفاعلات التأكسد والاختزال أكثر التحولات غير الحيوية شيوعاً، بالرغم من أن عدداً من التفاعلات الأخرى يمكن أن يحدث أيضا. والطين، والمادة العضوية، وأكاسيد الفلزات قادرة على تحفيز التفاعلات غير الحيوية التى تحدث فى الأراضى، وتؤثر أيضًا الكاتيونات المتبادلة فى تحولات الكيماويات العضوية. مرة أخرى، فإن التحلل المائى وتفاعلات التأكسد والاختزال تسود التفاعلات غير الحيوية التى تحدث فى الأراضى.

وتُقسّم التحولات الميكروبية للكيماويات العضوية إلى: (١) تحولات حيوية (الملوث يستخدم كبيئة أو مادة للنمو أى الأيض)، (٢) الأيض المرتبط (يتحول الملوث بواسطة تفاعلات أيضية أو بنائية بدون أن يستخدم كمصدر للطاقة)، (٣) التراكم (الملوث يندمج أو يدخل فى الكائن الحى الدقيق)، (٤) البلمرة أو الاقتران (الملوث يرتبط بمادة

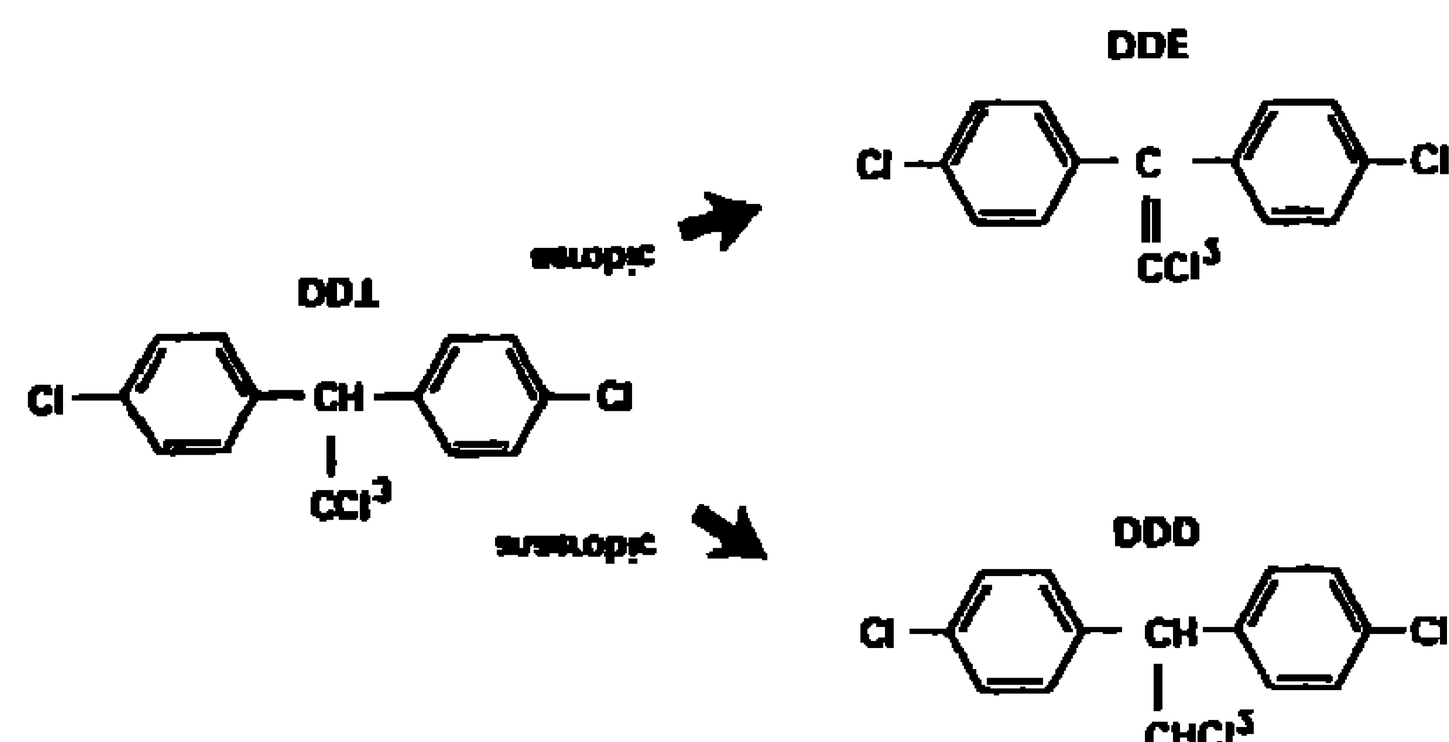
أخرى عضوية)، (٥) تأثيرات ثانوية للنشاط الميكروبى (يتحول الملوث بسبب تأثيرات ميكروبية غير مباشرة ، أى:pH ، التأكسد والاختزال) (Bollog and Yiu, 1990). وبالرغم أن هذه التحولات تتوسطها الكائنات الحية الدقيقة، فإنها تتضمن أيضا تحولات غير حيوية خاصة فى التحولات المرتبطة بالقسم الرابع والقسم الخامس.

ويعتبر التحلل الحيوى الآلية الرئيسية التى فيها تتحول الكيماويات العضوية إلى نواتج غير عضوية مثل ثانى أكسيد الكربون، وماء، وأملاح معدنية. ويُعدُّ تمثيل الكيماويات العضوية فى الأراضى بواسطة البكتريا أكبر من تمثيل هذه الكيماويات بواسطة الكائنات الدقيقة الأخرى. وفى النظم البيئية الطبيعية، يتم تسهيل التحلل الحيوى للكيماويات العضوية فى البداية بواسطة البكتريا عضوية التغذية والأكتينوميسيتات، وبعض البكتريا ذاتية التغذية، والفطر بما فى ذلك الباسيديوميسيتات والخميرة، وبروتوزوا معينة. ويمكن أن يحدث التحلل الحيوى تحت الظروف الهوائية واللاهوائية كما هو موضح لمركب د.د.ت فى شكل ٨ – ٥.

٨ – ٤ إستراتيجيات لعلاج المياه الجوفية والأراضي الملوثة:

إن تلوث البيئة التى نعيش فيها من هواء، وأراضٍ ، وجداول، ومياه جوفية أصبح قضية قومية. وإن بعض المشاكل الأكثر شيوعا للملوث مقرونة بالتسرب من أحواض التخزين تحت الأرض، ومن التخلص غير الصحيح للزيوت والشحوم والمذيبات، وحمأة المصانع، وسقوط الملوث، وغيرها؛ فالمواقع التى حدث لها تلوث تحتوى بصفة عامة على خليط من المكونات العضوية. لذلك فإنه من المهم أن نفهم طريقة سلوك هذه النظم متعددة المكونات حتى يمكن وضع وتطوير استراتيجيات العلاج. وفى الأقسام السابقة، ناقشنا العمليات الكيميائية، والفيزيائية، والميكروبية التى تحدد حركة ومصير الكيماويات العضوية. وفى الأقسام التالية، سوف نناقش استراتيجيات عديدة تستخدم لعلاج المياه والأراضى الملوثة.

والمراحل الثلاث لبرنامج العلاج هى: التعريف، والتقويم، والفعل. ويتطلب تعريف أو تحديد موقع مشكلة محتملة: إما معرفة التاريخ الماضى للمنطقة والأنشطة التى



شكل ٨ – ٥ أمثلـة للنواتج اللاهوائية والهوائية الناتجة من التحول الحيوى للمركب الكيميائى د . د . ت.

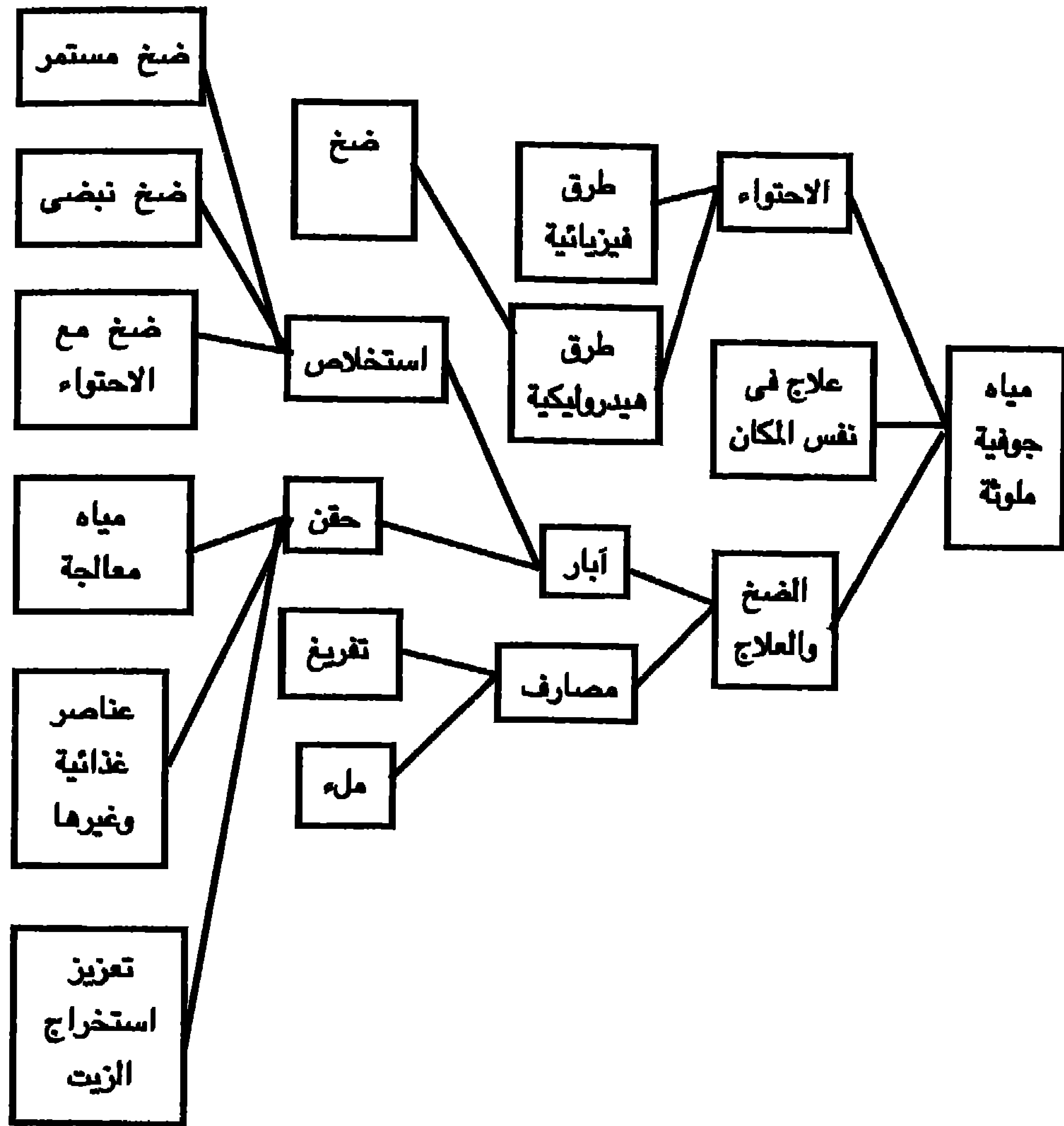
تمت، أو يتطلب تحليل عـينات الميـاه والأراضى والذى يوضح أن الموقع قـد حـدث له تلوث. أما التـقويم فـهو يقوم فقط بتـقـويم خطورة مشكلة الملوث. وبكلمات أخرى، هل توجد فعلا مشكلة؟ أين هذه المشكلة؟، وما مدى انتشار المشكلة؟. وبعد أن يتم التقويم، يجب أن يتم تطوير خطة عمل أو تنفيذ العلاج الذى سوف يواجه المشاكل المعينة التى سبق تعريفـها. وقد يتطلب برنامج العلاج معالجة كل من الأراضى والمياه السطحية والجوفية.

٨ – ٤ – ١ إستراتيجيات علاج المياه الجوفية:

توجد فى الوقت الحالى تقنيات عديدة ميسرة لعلاج تلوث المياه الجوفية. وفى حالة اعتبار الفعل العلاجى ضرورياً، فإن هناك ثلاثة خيارات عامة ميسرة هى:

الاحتـواء، أو المعالجـة فى نفس الموضـع، أو طـريقـة الضـخ والمعـالجـة (شكل ٨ – ٦).

وسوف تناقش الطرق المستخدمة لاحتواء الملوثات فى قسم ٨ –٤ –٤؛ حيث إن كثيراً من هذه الطرق مفيدة فى تقييد حركة الملوث فى كل من المياه الجوفية أو بيئة التـربة. ومن بين تقنيات العـلاج، فـإن طرق العـلاج فى نفس الموضع هى الأكـثـر استخداماً؛ وذلك للأسباب التالية: يُعد ضررها السطحى أقل من غيرها بصفة عامة؛



شكل ٨ - ٦ الخيارات المتاحة لعلاج المياة الجوفية ، والشكل يوضح طرق الضخ والعلاج.
(Mercer et al ., 1990.)

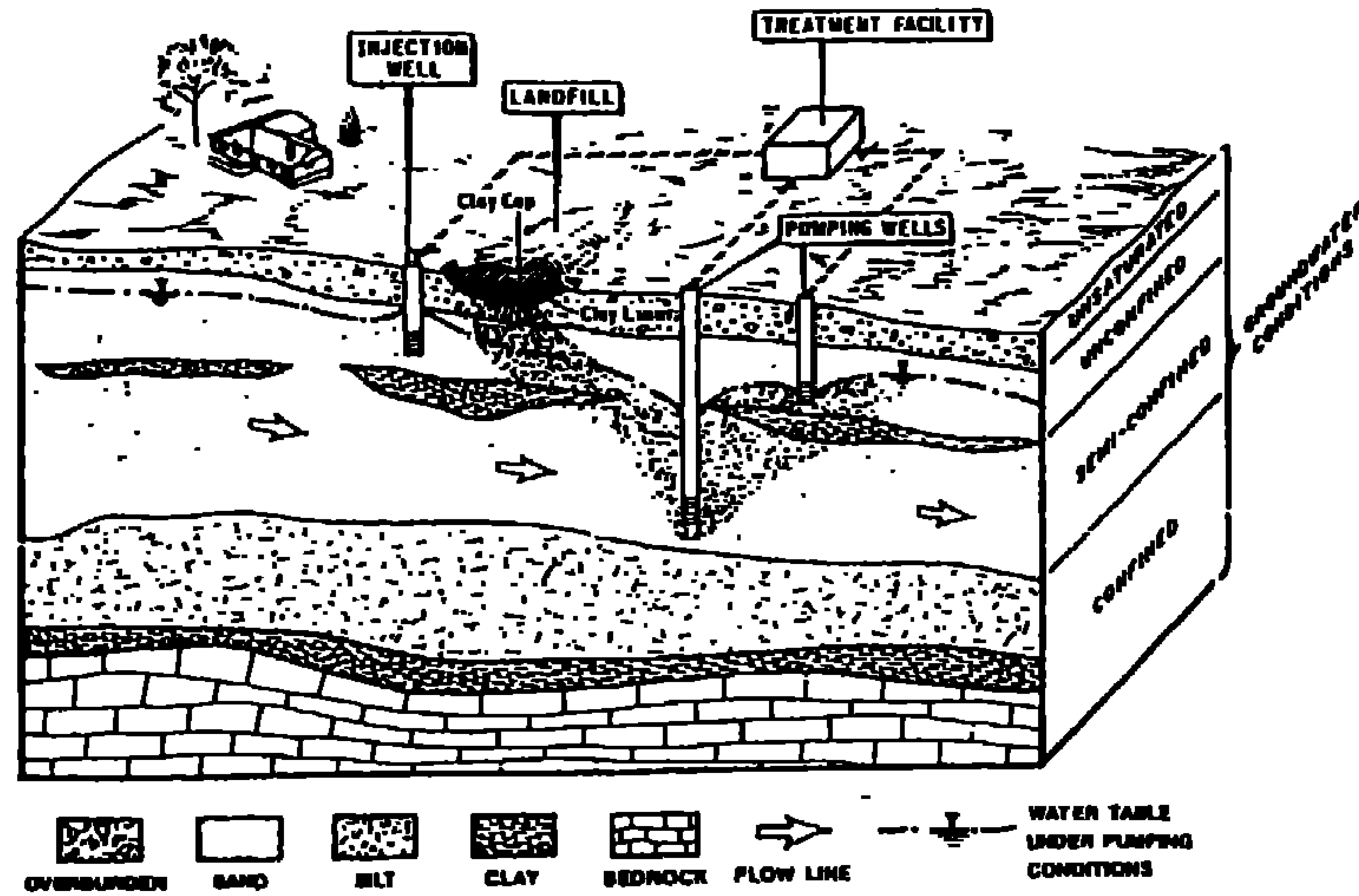
كما تتطلب أدنى كمية من الإمكانيات، وتقلل احتمال تعرض الإنسان للملوثات، وتحتاج تكلفة أقل من غيرها من الطرق، وفى حالة فعاليتها تساعد على تخفيض أو إزالة الملوث.

وتعتبر طريقة الضخ والمعالجة أحد العمليات الأكثر شيوعا المستخدمة لعلاج المياه الجوفية الملوثة. وفى هذه الطريقة، يتم ضخ المياه الملوثة إلى السطح حيث يتم استخدام إحدى عمليات المعالجة الكثيرة. وهناك اعتبار رئيسى فى تقنية الضخ والمعالجة وهو موضع الآبار؛ فإذا كانت نفاذية مادة تحت السطح منخفضة، فالأمر يتطب وجود مصارف بدلاً من الآبار. ويعتبر موضع البئر مهمًا، ولذلك سوف يعتمد على خواص الموضع (جدول ٨–١٠). ويستخدم نوعان من الآبار؛ آبار السحب، وآبار الحقن. وآبار السحب يمكن أن تضخ (تسحب) المياه باستمرار، و/أو يكون ضخها نبضيًا، و/أو ضخًا احتوائيًا، أما آبار الحقن فتستخدم بالاقتران (بالتوحيد) مع آبار السحب، ويتحدد موضعها بحيث تُشجع أو تُقوى حركة الملوث الداخلة إلى آبار السحب. والمحاليل المحقونة عبارة عن مياه معالجة، أو مياهٍ تحتوى عناصر غذائية، أو مواد أخرى تزيد فرص التحلل الكيميائى أو الميكروبى للملوث، أو مواد تعزز استخراج الزيت. ويوضح شكل ٨ – ٧ مثالاً لموقع يستخدم آبار الحقن والسحب.

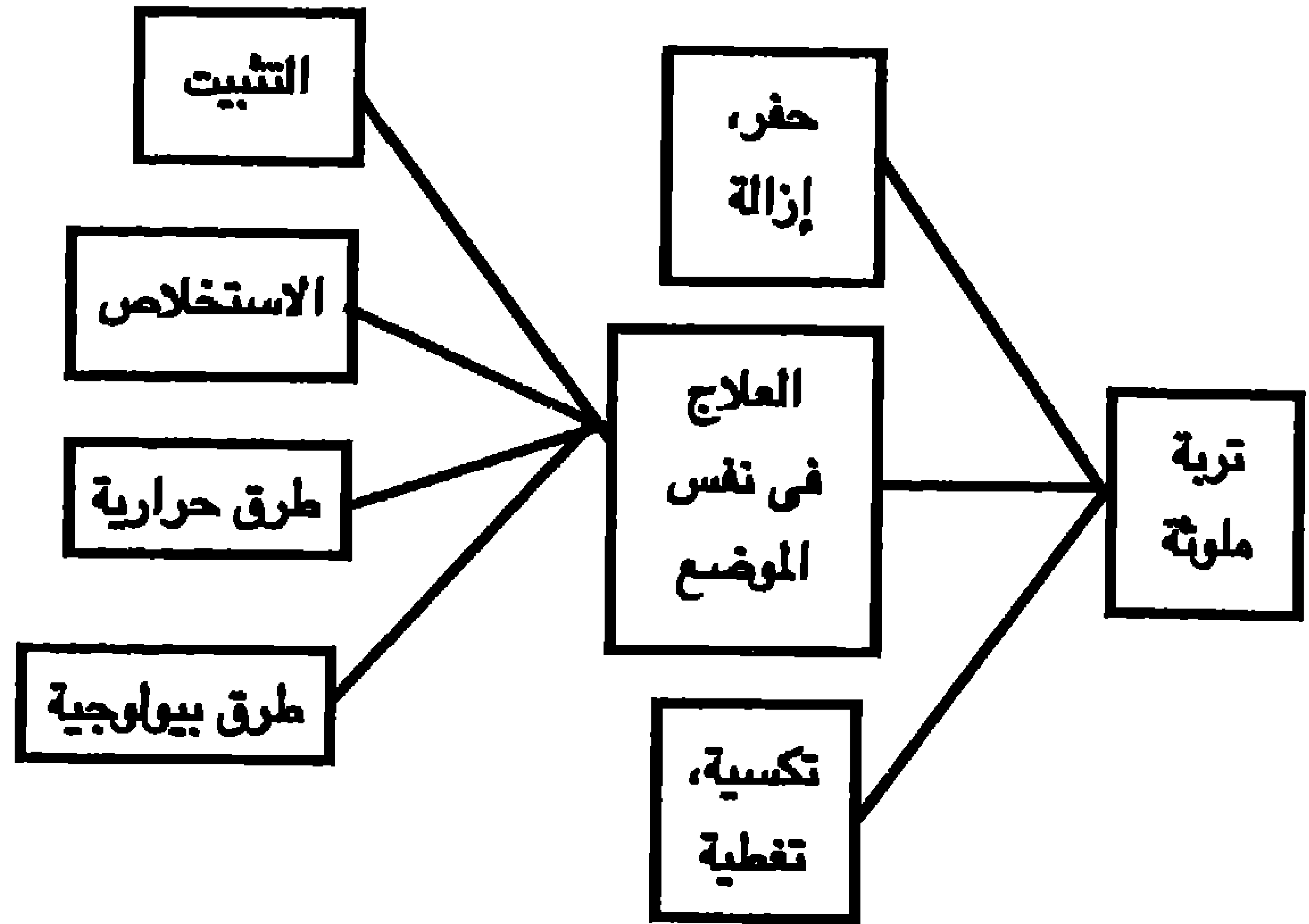
وبعد أن يتم ضخ المياه الملوثة إلى السطح أو تُجمع فى نظم الصرف، تبدأ المعالجة اللازمة لإزالة الملوثات. وتقنيات المعالجة يمكن أن تُجمع فى ثلاث فئات تشمل مايلى: (١) فيزيائية: الادمصاص، وفصل المواد الطافية، والمعاملة بالهواء والبخار، والمعاملة الحرارية؛ (٢) كيميائية: التبادل الأيونى، والتأكسد والاختزال ؛ (٣) بيولوجية: معالجة الأرض، وحجز الحمأة المنشطة وتلك الطافية التى على السطح، والتحلل البيولوجى. وسوف نناقش بتفصيل أكبر طرق المعالجة هذه فى القسم ٨ – ٤ – ٣.

وبسبب الطبيعة المعقدة لبيئات تحت السطح، فقد تم تحقيق نجاح محدود فقط بالنسبة لطرق المعالجة فى نفس الموضع؛ ومع ذلك، فكلما تزداد معرفتنا بهذه النظم فإننا، بدون شك، سوف نسمع عن كثير من منجزات العلاج فى نفس الموضع. ويمكن إجراء العلاج فى نفس الموضع للمياه الجوفية بواسطة التقنيات الكيميائية والبيولوجية.

والتقنيات الفيزيائية مثل الادمصاص تحتجز الملوث، وقد يكون هذا مفيداً لمزيدٍ من التحلل البيولوجي والكيميائي، وتعتمد تقنيات المعالجة البيولوجية فى نفس الموضع المستخدمة للعلاج البيولوجي للمياه الجوفية؛ إما على الكائنات الدقيقة الأصلية، والتى يتم تنشيطها بالأكسجين أو العناصر الغذائية لكى تحلل الملوثات، أو على تحسين بيئة المياه الجوفية عن طريق تزويدها بالكائنات الدقيقة (الزيادة الحيوية). وتجرى حاليا دراسات معملية باستخدام الكائنات الدقيقة المهندسة وراثيًا والقادرة على تحليل الملوثات العضوية، ولكن قبل أن تستخدم هذه الكائنات الدقيقة لعلاج المياه الجوفية فى نفس الموضع، مطلوب عمل بحوث إضافية لكى تؤكد أن هذه الكائنات الدقيقة المهندسة وراثيًا سوف لا تسبب ضرراً للبيئة.



شكل ٨ – ٧ رسم لموقع يوضح استخدام آبار الحقن و آبار الاستخلاص فى علاج موقع ملوث من مدفن نفايات . (Mercer , et al., 1990.)



شكل ٨ – ٨ الخيارات المتاحة لعلاج الأراضى الملوثة ؛ الرسم يوضح طرق العلاج فى نفس الموضع. (Mercer , et al., 1990.)

٨ – ٤ – ٢ إستراتيجيات العلاج للأراضى الملوثة:

توجد أيضا تقنيات عديدة لاحتواء أو علاج الأراضى الملوثة. ويوضح شكل ٨ – ٨ بعض الخيارات الميسرة (المتاحة) فى حالة التسليم بضرورة العلاج، بالرغم من وجود تقنيات أخرى والتى قد تكون مناسبة بدرجة أكبر، وهو مايعتمد على الظروف الفعلية للموقع الملوث. وفى تنفيذ العلاج بالحفر، فإن مواد التربة والمواد تحت السطح تحفر وتسحب إلى أعلى، وإما أن تعالج فى نفس المكان أو تنقل إلى مكان آخر. وهناك مشكلات عديدة ترتبط بالطريقة الأخيرة من العلاج، وهى: (١) نقل الملوث قد يسبب أضراراً إضافية مثل فقد المادة، واحتمال الحوادث، وزيادة اضطراب البيئة، (٢) تكاليف النقل، قد تجعل عملية العلاج مكلفة جدا، وبالذات إذا كانت مسافة النقل كبيرة، كما أن نقل المواد الملوثة من مكان إلى مكان آخر لا يحل المشكلة إلاّ إذا تم عمل خطوات معالجة إضافية. وقد تكون زراعة الأراضى (انظر الفصل التاسع) خياراً

عمليًا لو كان الملوث قابلاً للتحلل أو كان مفيداً لأغراض عملية. ومع ذلك، فإن حرق المادة الملوثة أو المعالجة الكيميائية لها قد تنتج عنها مشاكل تحتاج إلى تصحيح. وهناك مسألة أخرى مهمة مرتبطة بنقل المواد الملوثة، وهي خاصة بكيفية شعور الجمهور بقبول هذه المخلفات، وفي حالة الحرق، ماهي الضمانات أو التأمينات التي يأخذها الجمهور حتى لا يصبح تلوث الهواء مشكلة ؛ فالشعور العام لكثير من المجتمعات تجاه التخلص من المخلفات (النووية، والحمأة، والمواد الملوثة) وكذلك الحرق، هو «ليس في فنائي الخلفي» (NIMBY) أي «تخلص منه أو أحرقه بعيدا عني».

وإذا كان الحفر والنقل وسيلة غير مقبولة لإزالة الأراضي الملوثة وذلك لأسباب اقتصادية، أو اجتماعية، أو بيئية، فهناك خيارات أخرى (شكل ٨ – ٨) تشمل إما احتواء المادة الملوثة أو معالجتها في نفس مكانها. وقد يكون خيار الاحتواء هو الأفضل عمليا وهذا يتوقف على الظروف (أي طبيعة المخلف، وظروف الموقع، واحتمال الخطر). وسوف نناقش في القسم ٨-٤-٤ طرق الاحتواء التي تستخدم لتقييد حركة الملوث في نظم الأراضي والمياه الجوفية. وتعتمد معالجة المواد الملوّثة في نفس الموضع أيضا على الحفر، ولكن العلاج أو معالجة المادة يتم بدون نقلها إلى مكان آخر.

وتتطلب **الطريقة النموذجية** لمعالجة المواد الملوثة في نفس الموضع مايلي:

أولا: أن يتم حفر واستخراج هذه المواد،

ثانيا: أن تعالج هذه المواد بأحد الطرق العديدة لإزالة الملوث، أو هدمه (إبادته)، أو تثبيته،

ثالثا: أن يتم إعادة (إرجاع) المواد إلى مكانها.

وتشمل بعض الطرق الشائعة الاستخدام للعلاج في نفس الموضع مايلي: الاستخلاص (الغسيل) ، والفصل ، والطفو ، والمعالجة الحرارية ، والنزع بالبخار ، والمعالجة الكيميائية، والانحلال بالميكروبات. وبالرغم أن جميع هذه الطرق قد يمكن تطبيقها لإزالة التلوث من الأراضي المحتوية كيماويات عضوية، إلا أن أكثر هذه الطرق القابلة للتطبيق هي الاستخلاص (الغسيل)، والمعالجة بالحرارة، والتحلل الميكروبي.

وتلقى طرق المعالجة فى نفس الموضع لعلاج الأراضى الملوثة بمركب عضوى قبولاً متزايداً؛ لأنها تتطلب معالجة فيزيائية أقل للمنطقة الملوثة، كما أنها، بصفة عامة، أقل تكلفة. ويمكن إجراء العلاج فى نفس المكان بدون حفر واستخراج، ويتطلب، على نحو نموذجى، حقن سائل، أو عجينة من طين رقيق القوام، أو غاز يحتوى على العامل الكيماوى أو العامل الميكروبى الذى سوف يتفاعل مع الملوث. كما أن بعض طرق العلاج فى نفس الموضع المستخدمة أو المقترحة عبارة عن معالجة كيميائية، أو تصلب (تحجر)، أو معالجة حرارية، أو تحلل ميكروبى، ويشمل التحلل البيولوجى فى نفس الموضع حقن مادة (مثل فوق أكسيد الهيدروجين، وعناصر غذائية) لتتفاعل مع البكتريا ولا تتفاعل مع الملوث.

وهناك صورة أخرى للمعالجة فى نفس الموضع للمناطق الملوثة تعتمد على قدرة النباتات على تجميع أو إزالة سموم الكيماويات العضوية. وبالرغم أن استخدام النباتات للمعالجة فى نفس الموضع لم يدرس بدرجة كبيرة، إلا أن الحقيقة التى تعنى أن للنباتات القدرة على امتصاص وتمثيل مبيدات الأعشاب، توحى أن هناك ميزة منتظرة لهذا النوع من المعالجة فى نفس الموضع. وتستخدم فى الوقت الحالى الأراضى الرطبة لمعالجة مياه المجارى المعالجة والتى تحتوى كميات متفاوتة من الكيماويات العضوية، كما أن إنشاء أراضى رطبة صناعية داخل أو حول الموقع الملوث قد يساعد بدرجة فعالة فى تحلل الكيماويات العضوية. وتعتبر زراعة مناطق واقية على ضفاف الأنهار مثالاً جيداً لاستخدام العمليات الطبيعية فى مقاومة تدهور الجداول والأنهار.

٨ – ٤ – ٣ طرق المعالجة:

إن طرق المعالجة التى نوقشت فى القسم السابق مدونة أدناه. ولقد تمَّ تجميع طرق المعالجة المختلفة طبقا لثلاث تقنيات أساسية: فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية.

٨ – ٤ – ٣ – ١ الطرق الفيزيائية :

طرق الادمصاص: تعتمد على الادمصاص الفيزيائى للملوث العضوى أو احتجازه (حبسه) على فحم منشط أو راتنج صناعى (تخليقى). وتمر المياه الملوثة خلال أعمدة أو أوعية كبيرة مملوءة بالراتنجات. ويفضل استخدام الفحم المنشط، وهو فعال بدرجة عالية فى إزالة الكيماويات العضوية منخفضة النوبان.

طرق الفصل: تشمل المعالجات التى تفصل الملوثات عن الأراضى بطريقة فيزيائية، والتناضح العكسى، الذى يركز الملوثات عن طريق إجبار المياه، باستخدام ضغط، على المرور خلال غشاء شبه منفذ، ويمكن تحقيق الفصل الفيزيائى لملوثات الطور المائى والعضوى باستخدام الضغط أو السحب ؛ فالكحولات ذات الوزن الجزيئى المنخفض، والكيتونات، والأمينات، والألدهيدات، يمكن فصلها باستخدام طريقة التناضح العكسى.

الطفو أو التعويم؛ أو الفصل بالكثافة: يستخدم عادة لفصل الكيماويات العضوية المنخفضة الكثافة من الأراضى والمياه الجوفية. ولتسهيل عملية الطفو، يمكن إضافة مواد كيميائية إلى الأراضى أو المياه لتحرير الكيماويات العضوية الملتصقة (الملتحمة) بالمواد الصلبة، ويُستخدم أيضا الطفو لاستخلاص زيت البترول من رمال الزيت ورمال القطران.

النزع بالهواء والبخار: يمكن أن يزيل الكيماويات العضوية المتطايرة من كل من الأراضى والمياه. والمواد العضوية المتطايرة المنطلقة يمكن جمعها عن طريق احتجازها على فحم مُنشّط أو باستخدام مكثف. وهذه الطريقة مفيدة بصفة خاصة لإزالة الهيدروكربونات الذائبة فى الماء (مثل: الميثانول، الإيثانول، أيزو بروبانول، الفينول)، والهيدروكربونات غير القابلة للامتزاج بالماء (مثل: البنزين، التولوين، الزيلين)، والهيدروكربونات المهلجنة (مثل: تراى كلورو إيثيلين، ميثيلين، داى كلورو – بنزين).

المعالجة الحرارية : وتعتمد على الحرارة لإزالة الملوثات إما بالتبخير أو بتدمير الملوث بالحرارة الكافية (الحرق، والتحويل إلى رماد). وفى الطريقة الأولى، فى حالة وجود كميات معنوية من الكيماويات العضوية عالية التطاير مثل الهيدروكربونات

والهيدروكربونات المهلجنة، فإنه من الممكن استردادها واستعادتها. وينتج عن الحرق الكامل للكيماويات العضوية السائلة، والغازية، والصلبة ثانى أكسيد كربون، وماء، وحامض هيدروكلوريك، ونواتج أخرى.

التصلب: يمكن إنجازه عن طريق الربط الفيزيائى أو الكيميائى للأرض أو مادة المخلفات فى كتلة متصلبة أو متحجرة، ويمكن أن تصبح المادة الملوثة متصلبة مباشرة، أو تصبح المواد المحيطة بالموقع الملوث متصلبة وتُكوّن شريطا عازلا، وتشمل معالجات التصلب فى الغالب استخدام الأسمنت أو مواد بلاستيكية أخرى.

٨ - ٤ - ٣ - ٢ الطرق الكيماوية:

المعالجة الكيماوية: تشمل إضافة عامل كيميائى إما على سطح التربة أو من خلال نظام حقن يسمح بنفاذ أعمق للعامل الكيميائى فى داخل بيئة تحت السطح. ويمكن أن يتفاعل العامل الكيميائى مع الملوث العضوى لكى يعادل الملوث، أو يثبته، أو يُغيّره كيميائيا للدرجة التى لا يسبب بها ضرراً للبيئة. وفى حالات معينة، فإن الغسيل بالماء للموقع الملوث أو بمحلول ملح قد يؤدى إلى حماية كافية من التدهور إلى حد أبعد من الحالى. ومع ذلك، فإن هذه الطريقة لا يمكن تطبيقها فى المناطق التى تصل فيها المواد الراشحة إلى المياه الجوفية.

الاستخلاص (الغسيل): يمكن إنجازه للكيماويات العضوية مثل الهيدروكربونات والهيدروكربونات المهلجنة باستخدام واحد من عوامل الاستخلاص المائية المختلفة العديدة مثل: حامض، أو قاعدة، أو منظف، أوْ مذيب عضوى قابل للامتزاج فى الماء. ومعروف أن الكيماويات العضوية تُدمص أو تحجز على سطوح الطور الصلب المعدنى والعضوى للأراضى. وتستطيع بعض عوامل الاستخلاص القاعدية - مثل أيدروكسيد الصوديوم وكربونات الصوديوم - أن تقوم بإذابة أو تفريق المادة العضوية، وهو ماسوف يُعزّز إزالة الكيماويات العضوية. وينبغى أن تكون المذيبات العضوية المستخدمة لاستخلاص أو لغسيل الأراضى الملوثة قابلة للامتزاج بالماء لكى يسهل

فصلها بعد المعالجة ، وتشمل المذيبات العضوية المقترحة الإيثانول، والأيزوبروبانول، والأسيتون.

تأكسد الملوثات العضوية: يستخدم بدرجة واسعة فى معالجة المياه الجوفية. وتشمل بعض المؤكسدات الكيميائية الشائع استخدامها الهواء، والأكسجين، والأوزون، والأوزون مع الأشعة فوق البنفسجية (UV)، والكلورين، والهيبوكلوريت، وفوق أكسيد الهيدروجين. ويتم إجراء المعالجة فى نفس الموضع للأراضى والمياه الجوفية عن طريق حقن مياه غنية بالأكسجين فى داخل المناطق الملوثة. ومن المسلَّم به، أن التحلل القوى للملوثات العضوية يتم بواسطة الكائنات الدقيقة الأصلية.

راتنجات التبادل الأيونية وغير الأيونية: وهذه يمكنها أن تدمص الملوثات، مما يقلل من غسيلها. فتدمص بواسطة راتنجات التبادل الملوثات العضوية التى تمتلك مواقع مشحونة؛ أى الأحماض العضوية (الأحماض الكربوكسلية والفينولات) والأمينات العضوية، وكذلك المركبات العضوية غير المحبة للماء. ويحقن راتنجُت التبادل فى منطقة تحت السطح، فإن الملوثات ءلتى لا تكون مدمصة بشدة على سطوح المواد تحت دلسطح، يمكن أن تُحجز لمدة طويلة كافية للمُحمِّل الكيميائى أو الميكروبى ليجعل الملوث العضوى غير ضار.

٨ - ٤ - ٣ - ٣ الطرق البيولوجية :

معالجة الأراضى: هى طريقة فعالة لعلاج المياه الجوفية والأراضى الملوثة ؛ فالمواد الملوثة يتم خلطها فى التربة أو يتم تفريقها على سطح التربة، والتحلل الميكروبى للكيماويات العضوية يتم تعزيزه مع الزمن؛ حيث إن الكائنات الدقيقة يقل مفعولها بالنسبة للملوث. وتشمل طرق استخدام المياه الجوفية فى زراعة الأراضى الرى، أو الانسياب فوق سطح الأرض، أو الرى تحت السطحى. وهناك مناقشات أوسع فيما يتعلق بزراعة الأراضى فى الفصل التاسع.

الحمـأة المنشطة والمياه السطحية المجمـعة المهواة: وهما طريقتان تستخدمان لتحلل الملوثات العضوية الموجودة فى المياه. وتساعد الطريقتان على تحلل الملوثات العضوية عن طريق تشجيع أو تعزيز التحلل الميكروبى. وفى طريقة المعالجة بالحمأة المنشطة، يتم تدوير مادة الحمأة، وهى غنية بالكائنات الدقيقة القادرة على تحلل الكيماويات العضوية. وبالاعتماد على طبيعة سطح المياه السطحية المجمعة، تصبح كل من عمليتى التحلل الهوائى والتحلل اللاهوائى فعالة.

التحلل البيولوجى، أو التحلل الميكروبى: هو أحد العمليات الخمس البيولوجية الوسيطة التى تحول الملوثات العضوية، وتعتبر أكثر أهمية من العمليات الكيميائية والفيزيائية فى كثير من الحالات، كما يعتبر التحلل البيولوجى للأراضى والمياه الملوثة تقنية جديدة نسبيا لاقت اهتماماً كبيرا فى طريقة العلاج فى نفس الموضع. ولقد أوضحت دراسات عديدة، فى كل من الولايات المتحدة وأوروبا، أن التحلل البيولوجى فعال فى علاج المواقع الملوثة. ومع ذلك، فإن معدلات التحلل البيولوجى لبعض الكيماويات العضوية بطيئة نسبيا مثل الهيدروكربونات عالية الوزن الجزيئى، والمركبات الأروماتية عديدة الأنوية، والمركبات العضوية عالية الإحلال (مثل PCB). وهناك مزيد من المناقشات الإضافية عن العلاج البيولوجى للأراضى الملوثة بالكيماويات العضوية فى الفصل التاسع.

٨ – ٤ – ٤ الطرق المستخدمة لاحتواء الملوثات:

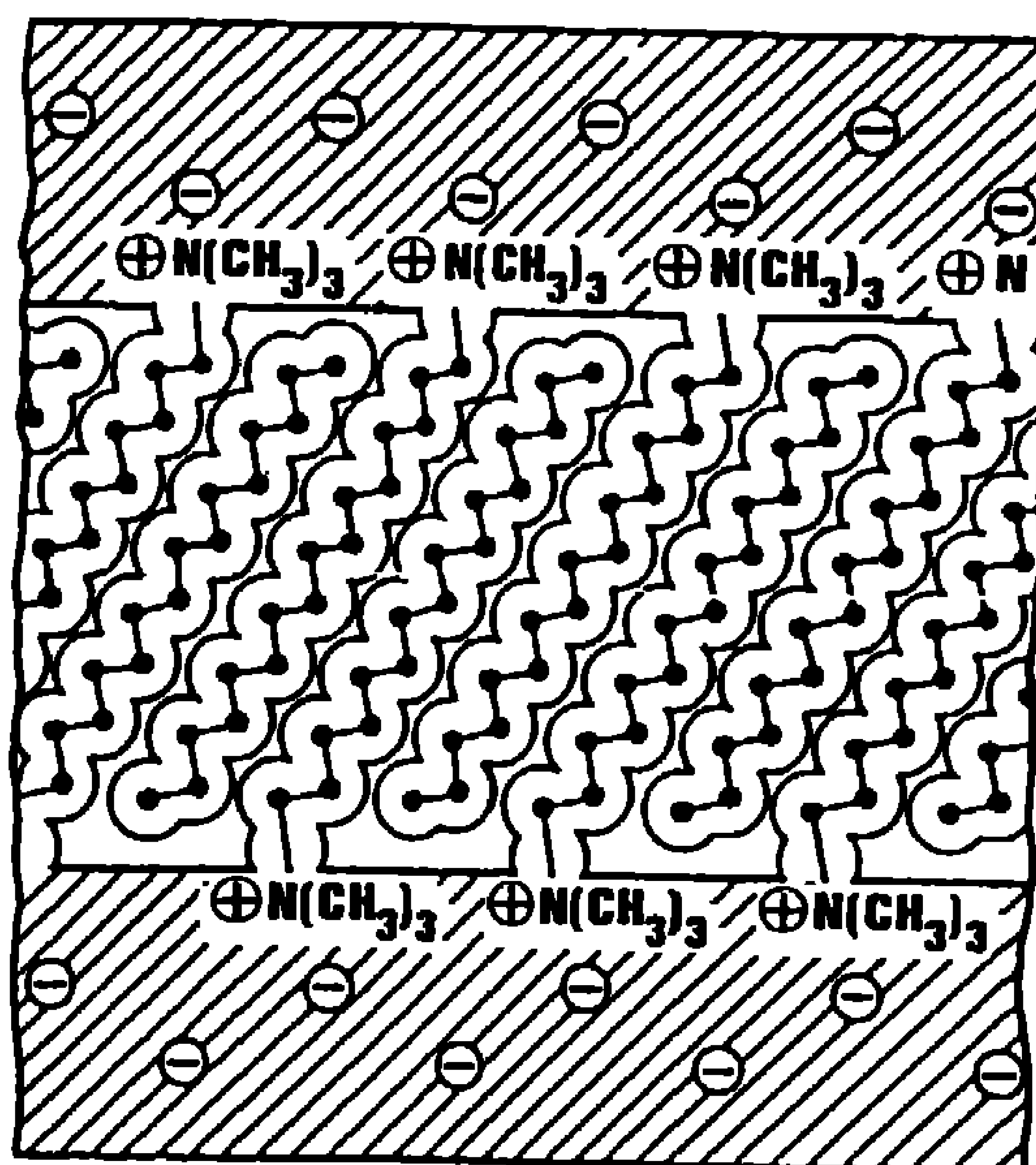
يعتبر عزل الملوثات عن طريق وضع حواجز تحتها أو حولها صورة للعلاج الذى يُقيِّد حركة الملوث فيما بعد. وبالرغم من أن نظم الاحتواء لها، فى الغالب، نفاذية منخفضة عن التربة وأيضا عن مواد تحت السطح المحيطة بالموقع الملوث، فإنها لا تعطى ضمانًا ١٠٠٪ بأن حركة الملوثات فى المستقبل لن تحدث. وتشمل بعض أنواع حواجز الاحتواء المستخدمة حاليا حوائط من الطين لخندق محفور فى الأرض، وستارة من الجص أو الأسمنت، وحوائط حزمة مهتز، وركائز من الألواح أو الصفائح، وسدّادات محكمة للقاع (لمنع التسرب). وتُبنى حواجز الاحتواء فى الغالب من التربة،

والطين، والخرسانة، والبلاستيك، والصلب، ومواد بناء أسمنتية أخرى. ولم يكن مطلوباً في الماضى عمل مثل هذه الحواجز حول محيط موقع حفرة احتواء المادة الملوثة، ولكن في عام ١٩٧٩، اقترحت وكالة حماية البيئة الأمريكية دليلاً لمقاومة الرشح من حفرة احتواء الملوث؛ فرأت أنه ينبغى أن يكون قاع الحفرة على الأقل ٥ر١ متر فوق مستوى الماء الأرضى، مع وضع حواجز فوق القاع وعلى الجوانب لسد الحفرة (إذا كانت ظروف الحفرة تؤدى إلى تلوث المياه الجوفية) ، وفي حالة الاعتقاد بضرورة وجود بطانة، فينبغى أن تتركب من مواد لها نفاذية $١٠^{-٧}$ سم/ث (تقريبا ١ر٠ قدم/سنة) أول أقل.

وأوضحت الدراسات الحديثة أن كيماويات عضوية معينة عندما تدمص على مواد التربة والطين، يمكن أن تعطى حاجز ادمصاص فعالاً بالنسبة لرشح الملوثات العضوية. والكيماويات العضوية المستخدمة فى هذه الدراسات عبارة عن كاتيونات عضوية من مجموعة كيماويات عضوية (كاتيونات الأمونيوم الرباعية، المعروفة أيضا بـ QUATS)، وهى بصفة عامة رخيصة الثمن، وتستعمل على نطاق واسع في مركبات مثل المنظفات، والرشاشات، ومضافات أحواض السباحة. ولكونها ذات شحنة موجبة، فإن هذه الملطفات الكيميائية ترتبط بقوة إلى المواقع السالبة الشحنة فى الأراضى، وتُكوِّن أطواراً فعالة لادمصاص الملوثات العضوية. ويمكن أن تتكون الأراضى المحسّنة وكذلك مواد تحت السطح المحسنة فى نفس المكان عن طريق حقْن كاتيونات الأمونيوم الرباعية QUATS في داخل منطقة ماحول المواقع الملوثة، أو فى منحدر أسفل مستوى الملوث، وذلك حتى يتم منع هجرة الملوث. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تحضير مواد من الطين المرتبط مع مركبات عضوية تسمى Organo - Clays وحقنها فى هيئة عجينة رقيقة (رُوَبة) لتُكوِّن حاجزاً فعالاً حول الموقع أيضا. وحيث أن مواد الطين المرتبط مع مركبات عضوية قادرة على ادمصاص مكونات البترول (مثل البنزين، تولوين، إيثيل بنزين، الزيلين – p، بيوتيل بنزين، نافثالين)، فقد تكون مفيدة كمادة تمثل بطانة حول حقول صهاريج البترول وخزانات التخزين تحت الأرض، ومن الممكن أيضا استخدامها لعلاج المياه الملوثة بالبترول، ويوضح شكل ٨ – ٩ مثالا لمادة الطين المرتبط مع مركبات عضوية.

٨ – ٥ إدارة الآفات:

ينبغى أن يعتمد برنامج مكافحة الآفات على تكامل تقنيات وممارسات إدارة الآفات، وهذا التكامل يساعد على تحقيق منافع اقتصادية، وبيئية، واجتماعية، ويشير مصطلح «تكامل تقنيات وممارسات إدارة الآفات» إلى الاستخدام المنسجم للمكافحة الحيوية، والكيماوية، والميكانيكية، والزراعية لإدارة تأهيل الآفات. ولقد أصبحت برامج إدارة الآفات، بالإضافة إلى ممارسات الصيانة الزراعية أكثر قبولاً فى قطاع الإنتاج الزراعى كلما اكتسب الأفراد فهماً أكبر وتقديراً أكبر لكيفية عمل الطبيعة، وكلما ازداد الاهتمام بالجودة البيئية.



شكل ٨ – ٩ مثال للطين المرتبط مع مركبات عضوية . يدمص الكاتيون العضوى $[(CH_3)_3N(CH_2)_{15}CH_3]^+$ بين طبقات معدن الطين المنتفخ . الملوثات العضوية غير الأيونية مثل البنزين، والتولوين، والزيلين تدمص بدرجة كبيرة بواسطة وكبيرة بواسطة مواد الطين المرتبط بالمركبات العضوية. (Boyd et al., 1991.)

جيولوجية:

- نوع الطبقة الصخرية الحاملة للمياه.
- سمك، ومساحة الطبقة الحاملة للمياه.
- نوع المسامية (أولية : مثل المسام الداخلية فى الحبيبات ، أو ثانوية : مثل الحال عند عدم انتظام حجر الأساس، مثل الشقوق أو الفجوات المائية).
- وجود أو غياب وحدات غير منفذة أو طبقات مُحددة.
- عمق مستوى الماء الأراضى؛ سمك منطقة فادوز.

هيدروليكية:

- الخواص الهيدروليكية للطبقات الحاملة للماء (التوصيل الهيدروليكى ، القابلية للنقل ، القابلية للخزن ، المسامية ، الانتشار).
- ظروف الضغط (محبوس ، غير محبوس ، محبوس مع تسرب أو رشح).
- اتجاهات انسياب المياه الجوفية (التدرج الهيدروليكى ، أفقى ورأسى)، الحجم (التدفق النوعى)، المعدل (متوسط السرعة الطولية).
- التفريغ وإعادة الامتلاء.
- تداخلات المياه الجوفية والمياة السطحية ؛ مناطق تدفق المياه الجوفية إلى المياه السطحية.
- الاختلافات الموسمية للمياه الجوفية.

استخدام المياه الجوفية:

- مصادر المياه الجوفية الموجودة أو الممكنة كمصادر مياه الشرب.
- استخدام موقع المياه الجوفية القريب أو الموجود.

شكل ٨ – ١٠ الصفات الهيدروجيولوجية المهمة للموقع التى تستخدم لتحديد موضع الآبار.

(Mercer et al ., 1990.)

وعندما ننتقل إلى موضوع صيانة الطاقة وحماية مواردنا، نجد أننا حققنا أو أنجزنا ممارسات زراعية يمكن أن تكون مفيدة وضارة فى آن معًا. فعلى سبيل المثال، أصبحت نظم الحرث بغرض صيانة التربة طرقًا مألوفة فى الزراعة لما ينتج عنها من تقليل فقد التربة بالانجراف بالرياح أو بالمياه، كما تؤدى إلى زيادة فى كمية الاحتفاظ بالماء عندما تترك بقايا المحاصيل على سطح التربة. ومع ذلك، فإن بعض عمليات الحرث تعزز بالفعل المشكلات المرتبطة بالأعشاب الضارة، والأمراض، والحشرات، والنيماتودا، والقوارض، والكائنات الدقيقة فى التربة. والطرق البديلة مثل وسائل المكافحة البيولوجية، واستخدام أصناف مقاومة، أو العمليات الزراعية المتغيرة – قد تكون مطلوبة إلى جانب إضافة المبيدات للقضاء على المشاكل الناشئة عن عمليات الحرث بغرض الصيانة.

٨ – ٥ – ١ الإدارة المتكاملة للآفات:

الإدارة المتكاملة للآفات، المعروفة أيضا بـ IPM ؛ هى برنامج مكافحة الآفات الذى يعتمد على عدة ممارسات لكى يمنع حدوث انفجار أو تفشى أو نشأة الآفات. ومن الأفضل أن تكون هذه الممارسات متوافقة أى منسجمة مع بعضها البعض مما يزيد فعاليتها، ويتكون برنامج IPM الفعال من: (١) إعداد التربة وتجهيزها لمكافحة الآفات (حشرات، كائنات دقيقة، أعشاب ضارة)، (٢) والمعالجة التحضيرية؛ الكيماوية أو البيولوجية لمكافحة الأعشاب الضارة والحشرات، (٣) وأيضا ملاحظة نشاط الحشرات محليًا أو إقليميًا لتحقيق إدارة زمنية أفضل، (٤) وفهم الظروف المناخية التى تساعد على نشأة وتفشى الآفات.

وفى أى برنامج IPM، يجب تنفيذ ممارسات عديدة لمنع مشكلات الآفات. وتشمل الممارسات الشائع تنفيذها فى أى برنامج IPM مايلى: (١) استخدام بذور أو نباتات معتمدة خالية من الأمراض والحشرات، (٢) وتنفيذ عمليات زراعية مثل دورة زراعية وقياسات خاصة بالصحة العامة، (٣) والتحكم فى الظروف الفيزيائية (وقت الحرث،

ظروف الزراعــة، درجــة الحــرارة والرطوبة المناسـبــة لظروف التـخـزين لكى تمنع الأمراض)، (٤) واسـتـخدام ممارسـات كيمـاوية (مـبيدات، مُدخِّنات، معـالجـة البذور والنباتات، واسـتخدام المطهرات)، (٥) وتطوير ممارسـات مكافحة بيولوجية مـبتكرة وجديدة مثل استخدام أصناف مقاومة للحشرات والأمراض (والمزيد من المناقشات الإضافية، انظر الفصل القادم عن وسائل المكافحة البيولوجية). وقد لا تـعطى هـذه الممـارسـات الحمـاية الكافية للوقاية مـن الآفـات عـلـى مـستـوى الأفراد؛ وبالرغم من ذلك فإن هذه الممارسات يمكنها أن تقلل الخسـارة الاقتصادية الناتجة عن مشكلات الآفات إلى أدنى حد على المستوى الجماعي.

٨ - ٥ - ٢ الوسائل البديلة لمكافحة الآفات:

اكتسبت بدائل استخدام المبيدات لمكافحة الأعشاب الضارة والحشرات شعبية كبيرة فى العصور الحديثة ؛ لأنها تميل إلى استخدام مدخلات أقل، كما أنها أكثر استدامة. وتعدّ المكافحة الحيوية أحد هذه البدائل لاستخدام المبيدات، بالرغم أن برامج المكافحة الحيوية يتم تصميمها عادة لتكون متخصصة للمضيف، إلا أنها مع ذلك غير قادرة على حل مشكلات الآفات المضاعفة. وفى برنامج المكافحة الحيويّة النموذجى، ينبغى أن يظل تعداد الآفة دون المستوى الذى يسبب خسارة اقتصادية. ولقد لخص Hoy عام ١٩٨٩ الطرق الثلاث الشائع استخدامها فى استراتيجيات المكافحة الحيوية كمايلى:

* طرق تقليدية (وهى استيراد وتأسيس أعداء طبيعية دخيلة لمكافحة الآفات المحلية والدخيلة).
* طرق الوقاية (وهى أفعال تؤدى إلى حماية الأعداء الطبيعية، و/أو المحافظة عليها، و/أو زيادة فعاليتها).
* طرق الزيادة (وهى أفعال تؤدى إلى زيادة تعداد الأعداء الطبيعية أو زيادة التأثيرات المفيدة لها؛ وهى قد لاتعتمد على نفسها فى الغذاء).

ويعتبر الإنسان هو المسئول الأول عن انتشار الأعشاب الضارة والحشرات على مستوى العالم. فمعظم الأعشاب الضارة والحشرات المزعجة جاءت نتيجة أنشطة السفر والتجارة (مثل: الشوك الروسى، عشبة القديس جون، حشيشة جونسون، عثة الغجر، الدودة الحلزونية، يرقات القمح الروسية، وهذا قليل من كثير). وتتكاثر الأعشاب الضارة والحشرات القادمة من البلاد الغريبة فى الحالات الآتية:

(١) إذا تكيفت هذه الكائنات مع البيئة الجديدة.

(٢) فى حالة عدم وجود أعدائها الطبيعية.

وأحد الأساليب لمكافحة زيادة الأعشاب الضارة والحشرات هو أن ندخل مكافحة حيوية من المنطقة الأصلية (المحلية) للآفة، والتى تستطيع أن تخفض أوتنظم الآفة إلى مستوى مقبول اقتصاديا وفنيا. ولقد أُدخلت الأعداء الطبيعية للقضاء على الأعشاب الضارة والحشرات الدخيلة التى حلت محل أصناف النباتات والحشرات الأصلية.

واستُخدمت المكافحة الحيوية بنجاح فى مكافحة الأعشاب الأرضية والمائية، وهناك أمثلة تقليدية لمكافحة الأعشاب الأرضية بواسطة حشرات مفيدة تتغذى على أصناف هذه الأعشاب وليس على محاصيل زراعية مثل المكافحة الحيوية للصبار والصبار الشوكى المنتشرين فى أستراليا، والمكافحة الحيوية لعشبة القديس جون أو عشبة كلاماث فى الولايات المتحدة، كما وجد أن الأسماك العشبية (مثل الهامور الأبيض) والأسماك غير العشبية (مثل الشَّبوط) تكافح الأعشاب المائية إما باستهلاكها أو استئصالها، على التوالى. ويوضح جدول ٨ – ١١ أمثلة عديدة للأعشاب الضارة الشائعة فى شمال غرب الولايات المتحدة وعوامل المكافحة الحيوية المبشرة بالنجاح فى مقاومتها.

وقد لاقت المكافحة الحيوية للحشرات أيضًا بعض النجاح، وهناك مثال للمكافحة الحيوية للحشرات هو حالة البق الدقيقى الاسترالى التى هددت أسباب الرزق لصناعة الموالح فى كاليفورنيا فى عقد ١٨٨٠. وهناك آفات أخرى تم على الأقل مكافحتها

جدول ٨ - ١١ بعض الأمثلة للأعشاب الضارة الشائعة في شمال غرب الولايات المتحدة وعوامل المكافحة الحيوية المبشرة بالنجاح في مقاومتها.

الحشيشة	الكائن الحيوى	ملاحظات
شوك كندا	Orellia ruficauda	تأكل اليرقات البذور من قمتها النامية.
شوك البحر المتوسط	Phrydiuchus tau	تثقب اليرقات التاج.
الشوكران السام	Agronoterix alstroemeriana	تقوم اليرقات بنزع أوراق النباتات ؛ يضعف النبات.
حشيشة القديس جون	Chrysolina quadrigemina	تقوم الحشرة (السوسة) بنزع أوراق النباتات، ويقل بذلك التمثيل الضوئى.
الجولق	Exapion ulicis	تأكل السوسة البنور، وتأكل اليرقات البالغة المجموع الخضرى.

للمزيد من التفاصيل راجع: (Burill et al., 1992.)

جدول ٨ - ١٢ المكافحة الحيوية لبعض الحشرات الشائعة فى غرب الولايات المتحدة.

الكائن الحيوى	الحشرة المستهدفة	ملاحظات
خنفساء	المن والعنكبوت	تلتهم بشراهة البيض والأجسام الطرية للحشرات.
خنفساء الأرض	الحشرات	تفترس معظم الحشرات التى توجد على سطح التربة.
البق	الحشرات والسوس.	يثقب ويمتص سوائل جسم الحشرة.
عنكبوت	الحشرات المنزلية الطائرة والزاحفة الصغيرة.	حشرات مفترشة فعالة.
دبابير	المن والحشرات الصغيرة.	طفيليات.
فطر	ثاقبات حبوب الذرة الأوروبية وحشرات المن.	مرض حشرى، محاولات لإنماء الفطر لمكافحة البعوض وآفات الصوبة

للمزيد من التفاصيل راجع: (Cranshaw, 1992.)

جزئيا بواسطة حشرات مفيدة، وتشمل هذه الآفات ثاقبات حبوب الذرة والقمح الأوروبية، والذبابة المنشارية لشجرة الراتنج الأوروبية، وذبابة الفاكهة الشرقية، وهذا قليل من كثير. ويمكن تحقيق مكافحة حيوية ناجحة للآفات على مستوى صغير أيضًا، كما فى الحدائق أو فى المزارع الصغيرة. ويبين جدول ٨ - ١٢ بعض الأمثلة الأكثر انتشارًا للمكافحة الحيوية فى الزراعة على مستوى صغير فى غرب الولايات المتحدة.

المراجع :

Bollag, J. M. and Liu, S. Y., Biological transformation processes of pesticides, in Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling, Cheng, H. H., Ed., Soil Science Society of America, Madison. WI, 1990, 103.

Boyd, S. A., Jaynes, W. A., and Ross, B. S., Immobilization of organic contaminants by organo - clays: application to soil restoration and hazardous waste containment, in Organic Substances and Sediments in Water, Baker, R. S., Ed., Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991, 181.

Burill, L. C., William, R. D., Parker, R., Boerboom, C., Callihan, R. H., Eberlein, C., and Morishita, D. W., Pacific Northwest Weed Control Handbook, Agricultural Communications, Oregon State University, 1992.

Chiou, C. T., Freed, V. H., Schmedding, D. W., and Kohnert, R. L., Environ. Sci. Technol., 11, 475, 1977.

Cranshaw, W., Pests of the West, Fulcrum Publishing, Golden, CO, 1992.

Cullimore, D. R., Interaction between herbicides and soil microorganisms, Residue Rev., 35, 65, 1971.

Harris, J. C., Rate of hydrolysis, in Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, New York, 1982a, chap. 7, 48.

Harris, J. C., Rate of aqueous photolysis, in Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, New York, 1982b, chap. 8, 43.

Hoy, M. A., Integrating biological control into agricultural IPM systems: reordering priorities, Proc. Natl. integrated pest Manage Symp./ Workshop, Las Vegas, NV, Commun. Serv. NY, State Agricultural Experimental Station, Cornell University, Geneva, NY, 1989, 41.

Mabey, W. and Mill, T., J. phys. Chem., 7, 383, 1978.

Madhun, Y. A. and Freed, V. H., Impact of pesticides on the environment, in Pesticides in the Soil Environment: processes, impacts, and Modeling, SSSA Book Series No. 2, Cheng, H. H., Ed., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990, 429.

Marathon - Agricultural and Environmental Consulting, Video cassettes — Fate of Pesticides in the Environment, Box 6969, Las Cruces, NM 88006, 1992.

Mercer, J. W., Skipp, D. C., and Giffin, D., Basics of Pump - and Treat Ground - Water Remediation Technologey, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/8-90/003, Ada, OK, 1990.

Miller, D. W., Ed., Waste Disposal Effects on Ground Water, Premier Press, Berkeley, CA, 1980, 512.

Office of Technology Assessment, Protecting the Nation's Groundwater from Contamination, U.S. Congress, Office of Technology Assessment, OTA - 0 - 233, U.S. Printing Office, Washington D.C., 1984.

Parsons, D. W. and Witt, J. M., Pesticides in the Groundwater in the United States of America: A Report of a 1988 Survey of State Lead Agencies, Oregon State University Extnension Service, Corvallis, OR, 1988.

Shoemaker, C. A., Integration of environmental concerns into IPM programs, Proc. Natl. IPM Symp./Workshop, Las Vegas, NV, Commun. Serv. NY, State Agricultural Experimental Station, Cornell University, Geneva, NY, 1989, 121.

Thomas, R. G., Volatilization from water, in Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, NY, 1982, chapter 15, 34.

Weber, J. B. and Miller, C. T., Organic chemical movement over and through soil, in Reactions and Movement of Organic Chemicals in Soils, Sawnney, B. L. and Brown, K., Eds., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1989, 305.

مراجع مساعدة :

Cheng, H. H., Ed., Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990.

Barcelona, M., Wehrmann, A., Keely, J. F., and Pettyjohn, W. A., Eds., Contamination of Ground Water: Prevention, Assessment, Restoration, Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ, 1990, 213 pp.

Calvet, R., Adsorption of organic chemicals in soils, Environ. Health Perspect., 83, 145, 1989.

Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds, McGraw - Hill. New York, 1982.

Smith, M. A., Ed., Contaminated Land: Reclamation and Treatment, Plenum Press, NY, 1985, 433 pp.

Thomas, R. G., Volatilization from soil, in Handbook of Chemical Property Estimation Methods: Environmental Behavior of Organic Compounds, Lyman, W. J., Reehl, W. F., and Rosenblatt, D. H., Eds., McGraw - Hill, New York, 1982, chap. 16, 50.

Wolfe, N. L., Mingelgrin, U., and Miller, G. C., Abiotic transformations in water, sediments, and soil, in Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling, cheng, H. H., Ed., Soil Science Society of America, Madison, WI, 1990, 103.

الفصل التاسع

الدورات البيو جيو كيميائية وإدارة الأراضي

٩ - ١ الدورات البيو جيو كيميائية والبيئة:

جميع العناصر الغذائية والعناصر النادرة التى نوقشت فى الفصول السابقة (النتروجين، الفوسفور، الكبريت، والعناصر النادرة)، وكذلك أيضًا المبيدات والملوثات التى يحملها الهواء التى نوقشت فى الفصل الثامن والفصل العاشر، جميعها يمكن أن يحدث لها تحولات فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية فى الأراضى. ويمكن لهذه التحولات أن تزيد التأثير البيئى لكل واحد من هذه العناصر أو المركبات، أو تقلله، أو حتى لايكون لها تأثير عليه. ويمكن تعريف **الدورة البيو جيو كيميائية** بأنها وصف تصورى للآليات التى بواسطتها يتحول عنصر ما أو مركب ما داخل نظام تحت الدراسة، ويشمل ذلك الوسائل التى بواسطتها يتم تبادل الأماكن للصور المختلفة للعنصر أو المركب بين الطور الصلب، والطور السائل، والطور الغازى لهذا النظام. ولا يقتصر التدوير البيوجيوكيميائى بالطبع على بيئة التربة، ولكنه يشمل المواد الجيولوجية، والكائنات البيولوجية، والهواء، والمياه ، والتى هى فى الأساس عالمية فى طبيعتها ، ومع ذلك، فإننا غالبا ننظر إليها ونحاول أن نديرها بمقياس أصغر (أى بمستوى أصغر)، كما هو الحال فى مستجمع الأمطار أو حتى فى داخل مدينة أو مزرعة ، وهذه الدورات لا تلخص فقط العمليات الرئيسية التى تشملها، ولكنها أيضا تزوّدنا برؤية عامة للعوامل البيئية التى تتحكم فى كل تحول. وتعتبر دورة النتروجين فى التربة ودورته العالمية، الموضحتان سابقا فى شكل ٤ - ١، وفى شكل ٤ - ٢، مثالين جيدين للمقاييس المختلفة للتدوير البيو جيو كيميائى لعنصر مهم فى إدارة الأراضى؛ فنحن

نفهم الأنواع العامة للعمليات الفعالة فى دورة النتروجين العالمية، ونفهم أيضاً الكثير من تأثيراتها البيئية (مثل: تلوث المياه الجوفية، واستنفاد الأوزون، والمطر الحامضى)، ونسعى إلى معالجة دورة النتروجين فى الأراضى لكى نقلل هذه التأثيرات السلبية إلى أدنى حد.

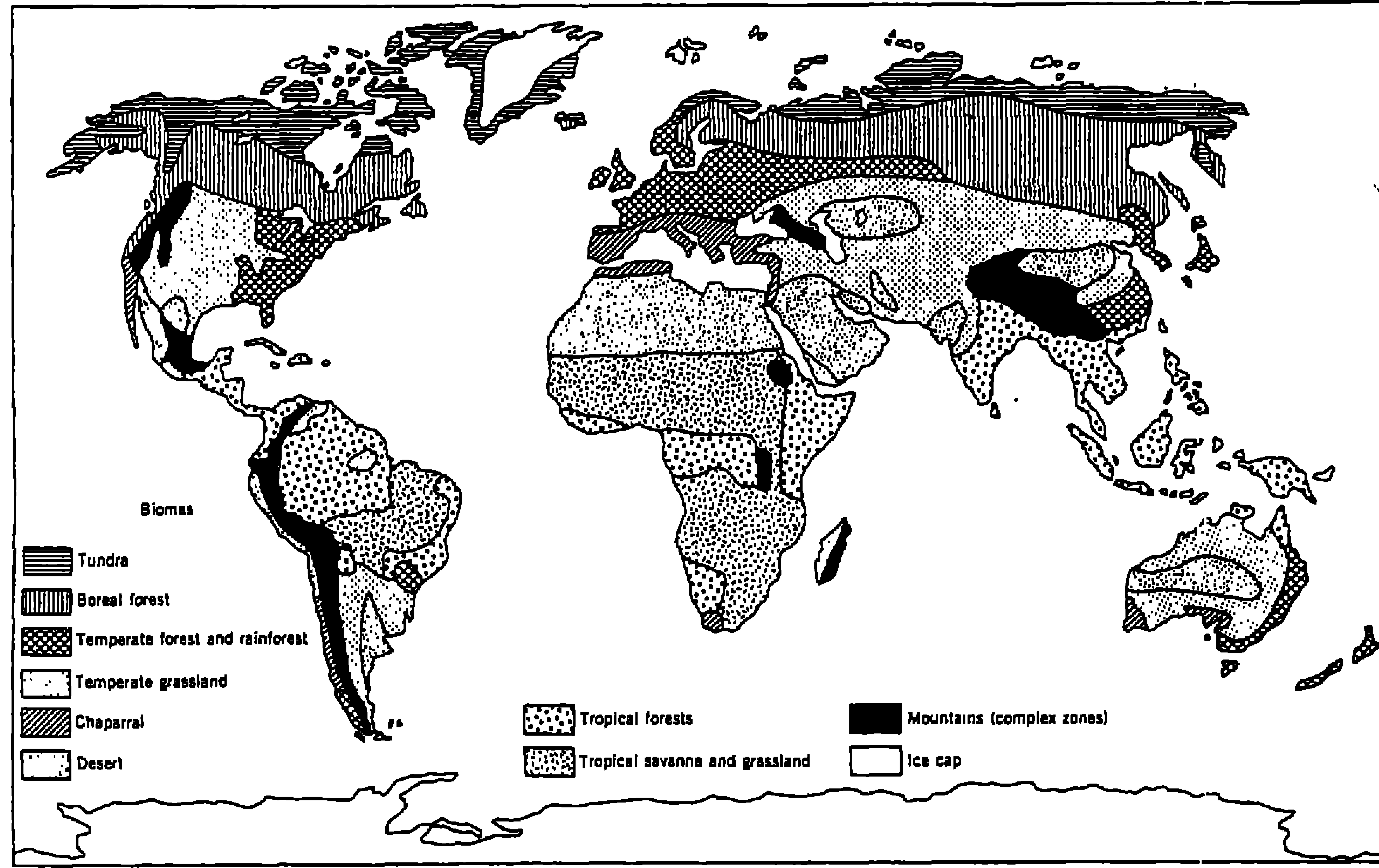
ومن وجهة نظر علم الأراضى، نحن نرغب على وجه التحديد أن نستخدم ملعوماتنا عن الدورات البيوجيو كيميائية لكى نراقب ونتحكم فى انتقال مكونات التربة، وكذلك مصيرها البيئى. ولقد وصفنا فى الفصول السابقة الكثير من هذه التحولات الكيميائية والبيولوجية (مثل: الادمصاص – عكس الادمصاص، الترسيب، المعدنة – التثبيت، التأكسد – الاختزال) كما وصفنا أيضا العوامل التى تؤثر فى انتقال عنصر ما أو مركب مابين الأطوار المختلفة للدورة عن طريق الغسيل، والانجراف، وسريان المياه، والتطاير. وبالتالى، تصبح الدورات البيو جيو كيميائية فى الغالب هى الأساس لتصميم ونمذجة الجهود التى تسعى إلى تحديد وتعريف المصير الأكثر احتمالاً لعناصر النبات الغذائية، والعناصر غير الضرورية، أو الجزيئات العضوية. وعن طريق تطوير معرفتنا للدورات البيوجيوكيميائية، فإننا نأمل أن نُحدِّد ممارسات الإدارة التى يمكن أن تقلل إلى أدنى حد التدهور البيئى المحتمل. ونحن نعتمد على البحوث العلمية لنعرف التحولات الممكنة والأكثر احتمالاً التى يمكن أن تحدث فى الأراضى. ومن هذه البحوث العلمية نبحث عن ممارسات الإدارة التى توفر لنا بعض المقاييس للتحكم فى هذه التحولات، وذلك لكى نُعظِّم فوائدها، ونُقلِّل أخطارها إلى أدنى حد ممكن. ولعلّ إحدى الخطوات الحرجة فى هذه العملية هى التأكيد على أن أنواع التحولات الممكنة ومعدلاتها لمعظم العناصر والمركبات تتوقف فقط على مدى الاختلاف فى خواص النظام الذى تقع فيه هذه العناصر والمركبات. وكنتيجة لذلك، فإننا لا ينبغى أن ندير كل تفاعل بيوكيميائى محتمل، وكذلك عملية الانتقال (وفى الغالب لا نستطيع ذلك)، وبدلا من هذا ينبغى أن نضع أولوية لجهودنا. وهناك أمثلة كثيرة لهذا. فتعتبر التحولات التى تحدث فقط تحت ظروف لاهوائية (مثل عكس التأزت) شائعة فى الأراضى الرطبة، ولكنها بالتأكيد غير محتملة فى أراضى المنطقة الجافة، كما يُعد غسيل الفوسفور نادراً فى معظم الأراضى الزراعية، ولكنه قد يصبح مشكلة فى الأراضى الرملية المستخدمة للرى

الكثيف بمياه الصرف الصحى، كما تكون أعراض نقص العناصر النادرة أقل شيوعاً فى المناطق الرطبة وذلك لأن الغسيل الشديد للكاتيونات القاعدية ينتج عنه أراضى حامضية، وليست قاعدية، ودرجة ذوبان أكبر لمعظم المعادن، وقد يحدث التحلل البيولوجى للملوثات العضوية بسرعة فى الطبقات السطحية للأراضى، ويكون بطيئاً فى طبقات الأرض السفلية (التى تقع تحت التربة مباشرة)؛ حيث وجد أن كثيراً من العناصر الغذائية اللازمة للكائنات الدقيقة والمتضمنة فى عملية التحلل توجد بتركيزات منخفضة جدا فى الطبقات السفلية للأرض. وتعتبر المعرفة الجيدة والتقدير الكمى إلى أكبر درجة ممكنة للقيود الموضوعة على التدوير البيوجيوكيميائى لعنصر ما فى أنظمة مختلفة خطوة أولى مهمة فى تطوير ممارسات إدارة بيئية سليمة للأراضى.

وبصراحة، بالرغم من اهتمامنا بالتأثيرات الكثيرة الممكنة لملوث محتمل على البيئة، إلا أنه تنقصنا المعرفة العلمية، والتقنية، أو الوسائل التى نتحكم بها فى كل تحول ممكن فى داخل الدورة البيوجيوكيميائية. وكذلك تتطلب منا أولوية جهود الإدارة أن نركز فهمنا لهذه الدورات مع تقويم «الخطر» البيئى المصاحب لكل تحول (راجع المناقشة الكاملة لعملية تقويم الخطر فى الفصل الحادى عشر). وسوف يناقش هذا الفصل بعض الاختلافات بين الدورات البيوجيوكيميائية فى الأراضى الطبيعية، والزراعية، والحضرية، والمفككة؛ وسوف يوضح كيف نستخدم فى الوقت الحالى معرفتنا عن هذه الدورات والمخاطر المرتبطة بها لإدارة الأسمدة، والمخلفات العضوية، والتحلل البيولوجى للملوثات العضوية.

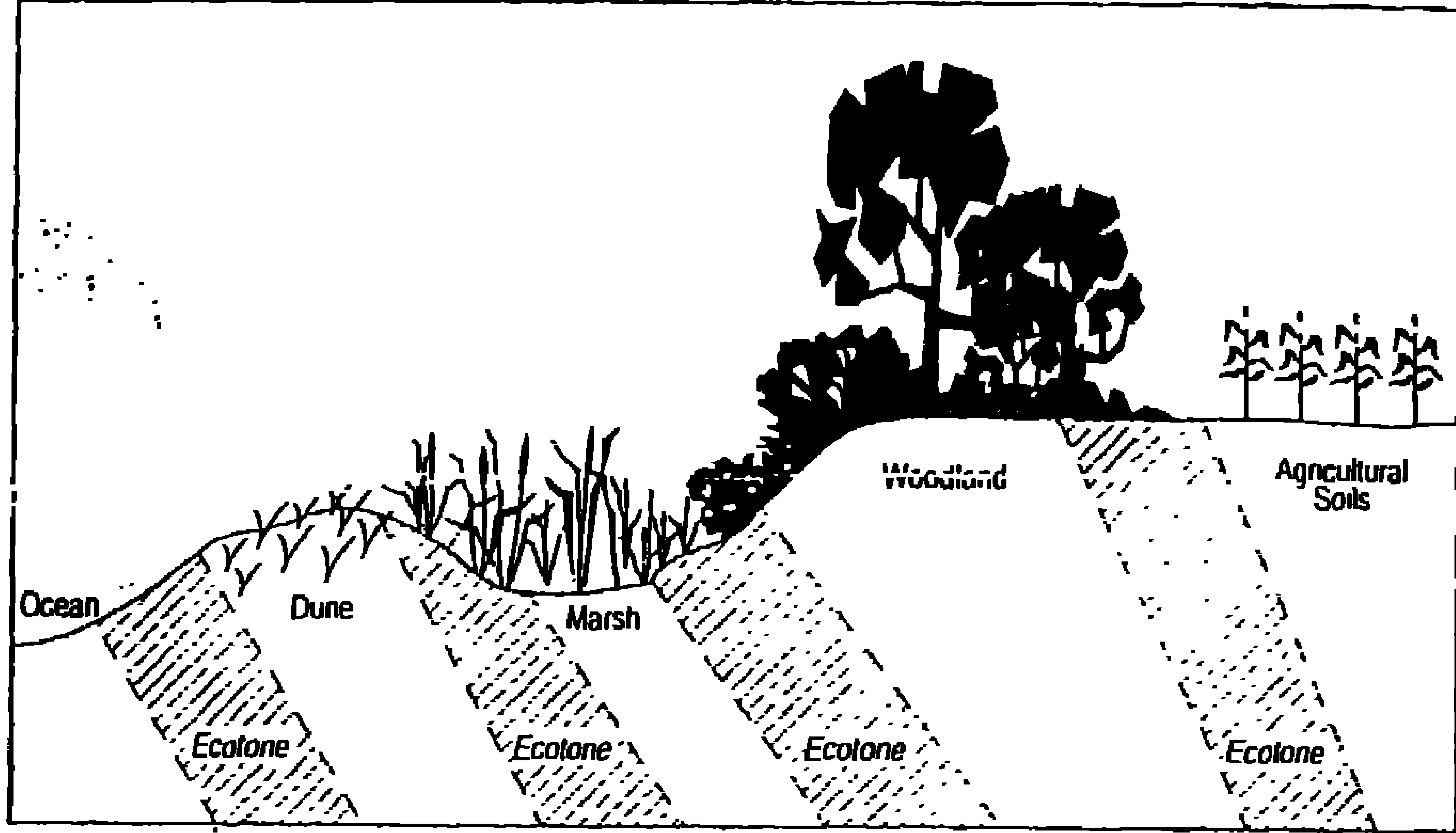
٩ – ١ – ١ الدورات البيوجيوكيميائية : المناطق الحيوية ، والمجتمعات الحيوية ، والنظم البيئية :

ربما من وجهة النظر الأعم التى يمكن أن تؤخذ فى الحسبان، عند اعتبار أهمية الدورات البيوجيوكيميائية، هى مايختص **بالمنطقة الحيوية** ، وهى أنها منطقة جغرافية



شكل ٩ - ١ توزيع المجتمعات الحيوية Biomes الرئيسية فى العالم.

(Council on Environmental Quality , 1989.)



شكل ٩ – ٢ تداخل النظم البيئية. يوضح الشكل المناطق الانتقالية Ecotones التى توجد بين النظم البيئية الفردية.

يتحدد فيها استغلال الأراضى بالموارد الطبيعية الموجودة، وبناء على ذلك، يتوقف استغلال الأراضى فقط على الخواص المميزة للمنطقة الخاصة بالأراضى، والجيولوجيا، والطبوغرافيا، والمناخ. ويعتبر **المجتمع الحيوى** تصوراً قريباً من هذا؛ فهو منطقة بيئية بها أنواع متجانسة من الكائنات الحيوية والبيئات الفيزيائية. ويوضح شكل ٩ – ١ أهم المجتمعات الحيوية فى العالم. وبالاعتماد على خواص كل مجتمع حيوى (مثل: التندرا، والغابات المعتدلة، والصحارى) نستطيع أن نتوقع نموذجًا مميزاً للتدوير البيوجيوكيميائى العناصر، ونستخدم البحوث والإدارة لكى نحدد الاستخدام المناسب أو غير المناسب للأراضى. وعلى المستوى الأصغر، ينبغي أن نأخذ أيضاً فى الاعتبار العلاقات المتبادلة والتحولات بين النظم البيئية المعروفة فى داخل أى مجتمع حيوى، عندما نقوم بتطوير ممارسات إدارة الأراضى بأدنى حد من التأثير على البيئة (شكل ٩ – ٢). ويعنى مصطلح **النظام البيئى** أشياء كثيرة لأناس كثيرين، والتعريفات

الفضفاضة هى فى الغالب مشابهة لتلك المستخدمة بالنسبة للمناطق الحيوية، ولكن بمستوى أصغر وأكثر سهولة فى إدارته ، وهذه التعريفات تشير إلى المناطق الجغرافية التى تتميز بمجتمعات حيوية ثابتة ومتجانسة بدرجة معقولة، بما فى ذلك المواد غير الحية مثل التربة، والهواء، والماء. وفيما يخص أهدافنا، فإن النظام البيئى يشير إلى منطقة لها بيئات فيزيائية وحيوية متميزة بدرجة كافية لتكون قابلة للتكيُّف مع الأساليب المشابهة الخاصة بإدارة استغلال الأراضى. ومما لا يدخل فى موضوع هذا الكتاب أن نقوم بوصف لجميع المجتمعات الحيوية والنظم البيئية الممكنة وتحولات المادة والطاقة التى تحدث بين هذه المناطق. لكننا سنركّز بصفة أساسية على العلاقة بين التدوير البيوجيوكيميائى فى «الأراضى التى تمت إدارتها»، وهى تلك الأراضى المستخدمة للزراعة أو للتخلص من المخلفات، وتأثيراتها الممكنة على «النظم البيئية الطبيعية» المجاورة مثل الأراضى الرطبة.

٩ – ١ – ٢ الدورات البيوجيوكيميائية: النظم البيئية المتفاعلة والمناطق الانتقالية:

يقع كثير من النظم البيئية الطبيعية مثل الغابات النجدية (المرتفعة عن الأرض)، والأراضى الرطبة، والصحارى على مقربة كبيرة من الأراضى المستخدمة فى الإنتاج الزراعى، والمدن والمصانع، ومناطق التعدين، ونظم النقل، ومناطق التخلص من المخلفات. وتتطلب معرفة حدوث تأثير متبادل بين النظم البيئية المتجاورة فهمًا جيداً للتدوير البيوجيوكيميائى على مستوى اقليمي أكبر. وتعتبر مناطق الإنتاج الزراعى والأراضى الرطبة الطبيعية الواقعة بالقرب من المناطق الحضرية مثالاً جيداً للنظم البيئية المتفاعلة. فتقوم الزراعة بتوفير الغذاء والكساء للبلدية وفى الغالب تعتمد على قبول وإدارة كثير من المخلفات الناتجة من السكان والصناعات فى النظام الحضرى. وتوفر المناطق الحضرية السوق للمنتجات الزراعية، والبنْية التحتية المالية والصناعية التى تغذى الأعمال الزراعية، «ومخرجات النظام البيئى» الأخرى مثل التربية والتعليم، والبحث العلمى، وأنشطة الاستجمام، والحاجيات (البضائع) والخدمات ، وتؤدى الأراضى الرطبة وظائف مهمة كثيرة للنظامين البيئيين السابقين. ومن بين هذه

الوظائف الأخرى الكثيرة، أنها (أى الأراضى الرطبة) تعمل كمناطق فلترة طبيعية للمياه السارية الزراعية والحضرية؛ وهو ما يعدّ مُهماً بوصفه وسيلة لاستقبال وحفظ المياه خلال أوقات العواصف، وبالتالى تمنع الفيضان؛ وتحافظ على تنوع مواطن الحيوانات البرية والنباتات.

وعلاوة على ذلك، نجد أن ثبات النظم البيئية الطبيعية يمكن أن يتأثر سلبًا بمدخلات تعزى إلى أنشطة الإنسان، ومثال على ذلك هو القلق الراجع لتأثير الترسيب الحامضى الناشئ عن احتراق الوقود الحجرى على بيئة الغابات والبحيرات. وبالمثل، فنحن نستخدم، فى بعض الحالات، أنظمة بيئية طبيعية لنخفّف أو نُسكّن التأثير البيئى للأنشطة الأخرى، كما هو الحال عندما نعتمد على الأراضى الرطبة لتقوم بتنقية المياه الملوثة من مياه الأمطار السارية على الأراضى الزراعية، أو من وحدات معالجة مياه الصرف الصحى، أو من الصرف السطحى أو الجوفى للمناجم. وعندما تتفاعل الأنظمة البيئية المستدامة للأراضى الرطبة مع النظم البيئية الحضرية تصبح عندئذ قضية بيئية. وفى أى من هذه الأمثلة، فإن طبيعة التدوير البيوجيوكيميائى للعناصر (مثل: النتروجين، الفوسفور، والكبريت) و/أو المركبات العضوية (مثل المبيدات، والمخلفات العضوية الصناعية) يجب أن يتم معرفتها فى الأنظمة البيئية المختلفة إذا كنا فى سبيل تطوير استراتيجيات إدارة تدعم كلاً منهما.

والخلاصة، لكى نحافظ على كل من النظم البيئية الطبيعية وتلك التى يصنعها الإنسان، يجب أن نفهم طبيعة الدورات البيوجيوكيميائية الداخلية الموجودة، وكيف يمكن لأنشطة الإنسان أن تُغيّر تدوير كل نظام وربما ثباته أيضاً. ونحتاج كذلك أن نكون على وعى وعلى معرفة بالحدود التى توجد بين الأنظمة البيئية (الطبيعية والتى من صنع الانسان) التى تمنع أو تسهل التحولات والانتقال بين المناطق الجغرافية التى نستطيع إدارتها. وتعنى الطبيعة المعقدة لمعظم الأنظمة البيئية أن هذه الحدود فى الغالب ليست فاصلة أو محددة. ولذلك نستخدم المصطلح **المنطقة الانتقالية ecotone** ليدل على المناطق الانتقالية الموجودة بين الأنظمة البيئية. وتعتبر الأراضى الرطبة مثالاً جيداً للمنطقة الانتقالية، وهى نظام بيئى له بعض صفات المناطق التى على حدوده مثل الغابة النجدية، والتل الرملى (شكل ٩ – ٢). وتشمل الأمثلة الأخرى للمناطق الانتقالية:

الفراغات الخضراء، والحدائق العامة، وغابات الأشجار الخشبية، والأراضى الرطبة المتخللة لمنطقة حضرية كثيفة السكان، والتى تخفف كثيرا من التأثيرات السلبية للبيئة الحضرية (مثل: الضوضاء، المرور، الروائح، الحرارة، سريان مياه العواصف).

وسوف يركز الجزء الأخير من هذا الفصل على أمثلة لكيفية توظيف معلوماتنا عن التدوير البيوجيوكيميائى للعناصر الغذائية والعناصر النادرة لنطور برامج إدارة سليمة للبيئة تهدف إلى زيادة إنتاجية الأراضى وثبات النظام البيئى ، وسوف يتضمن الجزء الأخير من هذا الفصل أيضًا قسمًا موجزًا عن العلاج الحيوى، ليوضح أسلوب التعامل المختلف نوعًا ما لإدارة الدورة البيوجيوكيميائية فى حالة تدمير نظام بيئى بواسطة تلوث على مستوى كبير.

٩ – ٢ إدارة الدورات البيوجيوكيميائية :

يُعد الرقم المطلق للدورات البيوجيوكيميائية الفردية الموجودة فى التربة فقط رقمًا مذهلا؛ حيث يوجد ١٠٢ عنصراً فى الجدول الدورى، ولكل عنصر دورة خاصة. ويتم تدوير بعض العناصر (C , H , O , N , P , S) بسرعة وفى كل مكان ، وذلك لأنها مكونات للكائنات الحية (عناصر نشوء الكائنات الحية)؛ وعناصر أخرى مثل العناصر النادرة يتم تدويرها بمعدلات أبطأ وفى مناطق جغرافية معينة. وتنتج عشرات الآلاف من المركبات العضوية التخليقية بكميات كبيرة كل عام عن طريق الصناعة ، ويدخل الكثير منها بيئة التربة كنواتج (مثل المبيدات)، أو كمكونات لمياه الصرف الصحى والصرف الصناعى أو هما معاً، أو كمقذوفات تسقط أو تتسرب مصادفة أو نتيجة حادثة خلال عملية الانتقال والتخزين. وتعتبر كل دورة فردية معقدة، وفى الغالب ترتبط ارتباطا وثيقا بالتحولات الحادثة بواسطة العناصر الأخرى أو المركبات الأخرى الموجودة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يؤثر تدوير النتروجين فى التحلل البيولوجى فى الأراضى الملوثة بالكيماويات العضوية؛ لأن النتروجين عنصر غذائى ضرورى للكائنات الدقيقة التى تحلل المركب الكيماوى. كما يؤثر تدوير الكربون فى درجة تيسر عناصر النتروجين، والفوسفور، والكبريت للنباتات، وكذلك يؤثر فى حركة العناصر النادرة فى الأراضى.

وكلما سرنا قدمًا نصل إلى الحقيقة التى تعنى أن المنطقة الحيوية أو النظام البيئى الفردى الذى تقع فيه الدورات يحدّد نوع العمليات فى داخل الدورة التى تسود فى تلك الأراضى. وبالفعل، فإن أحد الجوانب الأكثر تحدّيًا فى إدارة التربة؛ إما للأغراض الزراعية أو للأغراض البيئية، هى طبيعة الموقع الخاصة بالنسبة لبرامج الإدارة المتعددة. والأمثلة على ذلك كثيرة: فنحن لا نستطيع أن نقوم بإدارة السماد النتروچينى بنفس الطريقة بالضبط فى جميع الأراضى بسبب التفاعلات بين نوع التربة وفواقد النتروچين ، كما أن إستراتيجية الإصلاح التى تستطيع بنجاح إعادة زراعة منجم تالف فى جنوب شرق الولايات المتحدة قد تفشل كليةً فى جبال كولورادو بسبب الاختلافات المناخية، وأيضا فإن تشجيع وتعزيز التحلل البيولوچى للجازولين المتسرب من خزانات التخزين الجوفية (تحت الأرض) قد يكون ممكنا فى نفس المكان فى ولاية ما، بينما فى ولاية أخرى قد يتطلب الحفر والحرق. وإذا كنا قد تعلمنا أى شىء عن إدارة الأراضى ؛ فالحقيقة أن إدارة التدوير البيوجيوكيميائى تتطلب ليس فقط فهما علميا جيداً للعمليات الحادثة فى الدورة، ولكنها تتطلب أيضًا علاوة على ذلك إبداعًا وتجديداً . وبالفعل، لا يمكن أن ندّعى، بأية حال، أننا نقوم بإدارة هذه الدورات، لكننا ببساطة نعالج ببراعة عدداً محدوداً من العوامل لكى نعيد توجيه واحد أو أكثر من العمليات إلى صالحنا ، وربما يكون هذا سببًا فى أن كثيراً من الأفراد يعتبرون علم الأراضى البيئى فرعًا علميًا من المعرفة ممتعًا ومشوقًا؛ فهو يعطى فرصة لتكييف العلوم الأساسية (كيمياء الأراضى، وفيزياء الأراضى، وميكروبيولوچيا الأراضى) وكذلك المعرفة العملية مع المشاكل المهمة والصعبة التى تواجه مجتمعنا.

وفى الأقسام التالية سنقوم بوصف بعض الأساليب المستخدمة فى إدارة الدورات البيوجيوكيميائية تحت ظروف «العالم – الواقعية». وسندرس أيضا إدارة العنصر فى المزارع الخالية من الإنتاج الحيوانى وفى المزارع التى بها إنتاج حيوانى، وسندرس أيضا إدارة العنصر فى حالة استخدام مياه الصرف الصحى فى إنتاج المحاصيل، وتحولات العنصر فى الأراضى الرطبة، بالإضافة إلى دراسة العلاج البيولوچى لمركب عضوى كيماوى انساب فى داخل التربة. ويمكن تعميم الأساليب المستخدمة، وفى الغالب تختلف هذه الأساليب من نظام بيئى إلى آخر. وتمثل معظم

هذه الأساليب الجهود التعاونية التى تتم بين المجموعات العديدة من العلماء المختلفة فى فروع الدراسة، وتعتبر هذه صفة مميزة لجميع برامج الإدارة الجيدة للأراضى.

٩ – ٢ – ١ إدارة العنصر الغذائى فى المزارع التى بها إنتاج حيوانى وفى المزارع التى بدون إنتاج حيوانى:

تبدأ إدارة العنصر الغذائى فى المزرعة بالتقدير الكمى للميزان الحالى بين مدخلات العنصر الغذائى إلى المزرعة وبين مخرجات العنصر الغذائى من المزرعة. وفى الأساس، فإننا نسعى إلى تقدير ماإذا كانت ممارسات الزراعة تُزيد بعض التحولات فى الدورة البيوجيوكيميائية بدرجة كبيرة، وتؤدى إلى تأثير سلبى على النظام البيئى المجاور أو لا، وكما هو موضح سابقا فى شكل ٥ – ١٨، تشمل مدخلات العنصر الغذائى إلى المزرعة: الأسمدة، والمخلفات العضوية (مثل السماد البلدى للحيوانات أو مياه الصرف، وحمأة الصرف الصحى، والأسمدة العضوية الصناعية «الكمبوست»)، والعلف ؛ وتشمل أيضا مدخلات العنصر الغذائى إلى المزرعة المساهمات الطبيعية من الأراضى، ومياه الرى، والترسيب الجوى. وتُزال العناصر الغذائية من المزرعة فى حبوب المحاصيل، والعلف، وعن طريق عمليات مثل الغسيل، وسريان المياه، وعكس التأزت، والتطاير. ومن الناحية العملية، يوجد فى معظم الحالات الزراعية عدد محدود فقط من الدورات البيوجيوكيميائية «يتم بالفعل إدارتها» بواسطة المزارعين أو بواسطة هؤلاء المختصين بالأعمال الاستشارية والنصح للمزارعين. ولقد أوضح البحث الزراعى أن دورات العناصر الغذائية السريعة التأثر والأكثر أهمية، من وجهة نظر إنتاج المحاصيل، هى دورات: النتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. ويجب أن تؤخذ أيضا فى الاعتبار دورة الكربون بسبب دور الكربون فى التحكم فى عملية معدنة أو تثبيت النتروجين والفوسفور، ومع ذلك، فمن النادر أن يقوم المزارعون بإدارة تدوير الكربون فى الأراضى. وتؤكد الإدارة السليمة لرقم حموضة التربة من خلال عملية إضافة الجير عادة أن دورات الكالسيوم والمغنسيوم توفر كميات كافية من هذه العناصر الغذائية لنمو النبات بدون تأثيرات سامة من الكاتيونات الحامضية (الهيدروجين، والألومنيوم،

والمنجنيز)، وعادة تلقى دورات الكبريت والعناصر النادرة اهتماما أقل بالنسبة لإدارة المحاصيل عدا فى ظروف محلية معينة معروفة جيدا. وعلى سبيل المثال، فإن نقص الكبريت واستجابة المحصول المعنوية لإضافات أسمدة الكبريت أكثر شيوعًا فى المناطق الرطبة فى الأراضى الرملية العميقة، وعادة يقتصر نقص العناصر النادرة (Fe , Mn , Zn) على الأراضى القاعدية أو الأراضى التى تلقت كميات زائدة من الجير، ويسود نقص النحاس فى الأراضى المرتفعة فى محتواها من المادة العضوية.

ميزانية العنصر الغذائى: هى صورة كَميّة للدورة البيوجيوكيميائية، وهى تُقدّر عما اذا كانت تؤدى ممارسات الإدارة الحالية للمزرعة إلى نقص أو زيادة فى العنصر الغذائى. وتنشأ ميزانية العنصر الغذائى عن طريق: **أولاً:** تقدير احتياجات المحصول من العنصر الغذائى عند محصول واقعى. **وثانيًا:** يتم تقدير مساهمات التربة بالعناصر الغذائية بواسطة برنامج الاختبارات الشاملة للتربة، وهذا قد يشمل أيضا اختبار تحت التربة بالنسبة لبعض العناصر التى قد توجد تحت «طبقة المحراث»، وبالتحديد داخل منطقة جذور المحاصيل. ويعتبر الكبريت مثالاً جيداً لعنصر غذائى حيث يُعدّ اختبار تحت التربة مهما له. ولقد أوضحت جميع الدراسات أن صورة الكبريتات SO_4^{-2} هى الصورة الوحيدة للكبريت التى ترشح إلى أعماق متوسطة فى الأراضى، وقد تعتبر المستودع الاحتياطى للكبريت الميسر للنبات بمجرد أن تنفذ الجذور إلى عمق ٣٠ – ٦٠سم. وتعطى نتائج اختبارات التربة ليس فقط تقدير كمية العنصر الغذائى الموجود فى التربة فى صورة ميسرة للنبات، ولكنها تعطى أيضا احتمال استجابة المحصول الاقتصادية للتسميد بهذا العنصر الغذائى ومعدل العنصر الغذائى اللازم للحصول على النمو الأمثل لمحصول معين. والفرق بين احتياجات المحصول من العنصر الغذائى وتلك الكمية الميسرة من التربة تمثل الكمية التى يجب أن تضاف، ويجب أن تتوافر من مصادر خارجية. وعند هذه النقطة فإن أية مصادر معنوية أخرى لمدخلات العنصر الغذائى – مثل تلك المتوفرة فى مياه الرى – يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند إعداد ميزانية العنصر.

وبالنسبة للمزارع التى ليس بها إنتاج حيوانى، فإن الخطوة الأخيرة فى عملية ميزانية العنصر الغذائى هى تقدير أفضل مصدر اقتصادى للعناصر الميسرة، وكذلك تقدير أفضل تقنية إضافة من ناحية الكفاءة. وبالرغم من ذلك، إذا كان هناك مزرعة بها تسهيلات إنتاج حيوانى كبيرة (مثل إنتاج الدواجن أو قطيع ماشية)، فإن الخطوة التالية هى حساب كمية العناصر الغذائية الميسرة للمزرعة من مخلفات الحيوانات، طالما أن هذه المواد يضاف معظمها فى الغالب إلى أراضى المحاصيل. والطرق التى تستخدم لتقدير كمية النتروجين الميسر من هذه المخلفات موضحة فى الفصل الرابع. وبالرغم من قلة المعلومات الميسرة عن معدل انطلاق العناصر الأخرى من المخلفات أو الأسمدة الحيوانية، فإنه فى معظم الحالات توجد تقديرات لمحتوى العنصر الغذائى فى الأسمدة الحيوانية لدرجة أن المزارعين يمكنهم ضبط الإضافات السمادية عن طريق تسجيل العناصر الغذائية فى السماد الحيوانى لحسابهم، كما هو موضح فى جدول ٩ – ١ بالنسبة لسماد الدواجن ، وهناك معلومات تفصيلية عن محتوى العناصر الغذائية فى الأسمدة الحيوانية موجودة فى مصادر كثيرة مثل:

Livestock Waste Management (1983).

جدول ٩ – ١ مثال للعناصر الغذائية المعتمدة المستخدمة لأسمدة الدواجن (كجم / ميجا جرام).

ظروف السماد	مواد صلبة (٪)	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn
سائل	٥	٥	٤	٢	٣	T	T	T	T	T
رطب هش	٥٠	٢٠	٢٠	١٠	٣٥	٣	٢	٠ر٢	٠ر٢	٠ر٢
جاف	٨٥	٤٥	٣٥	٢٠	٧٠	١٠	٤	٠ر٥	٠ر٥	٠ر٥

T = أثار (Pennsylvania State University, 1983.)

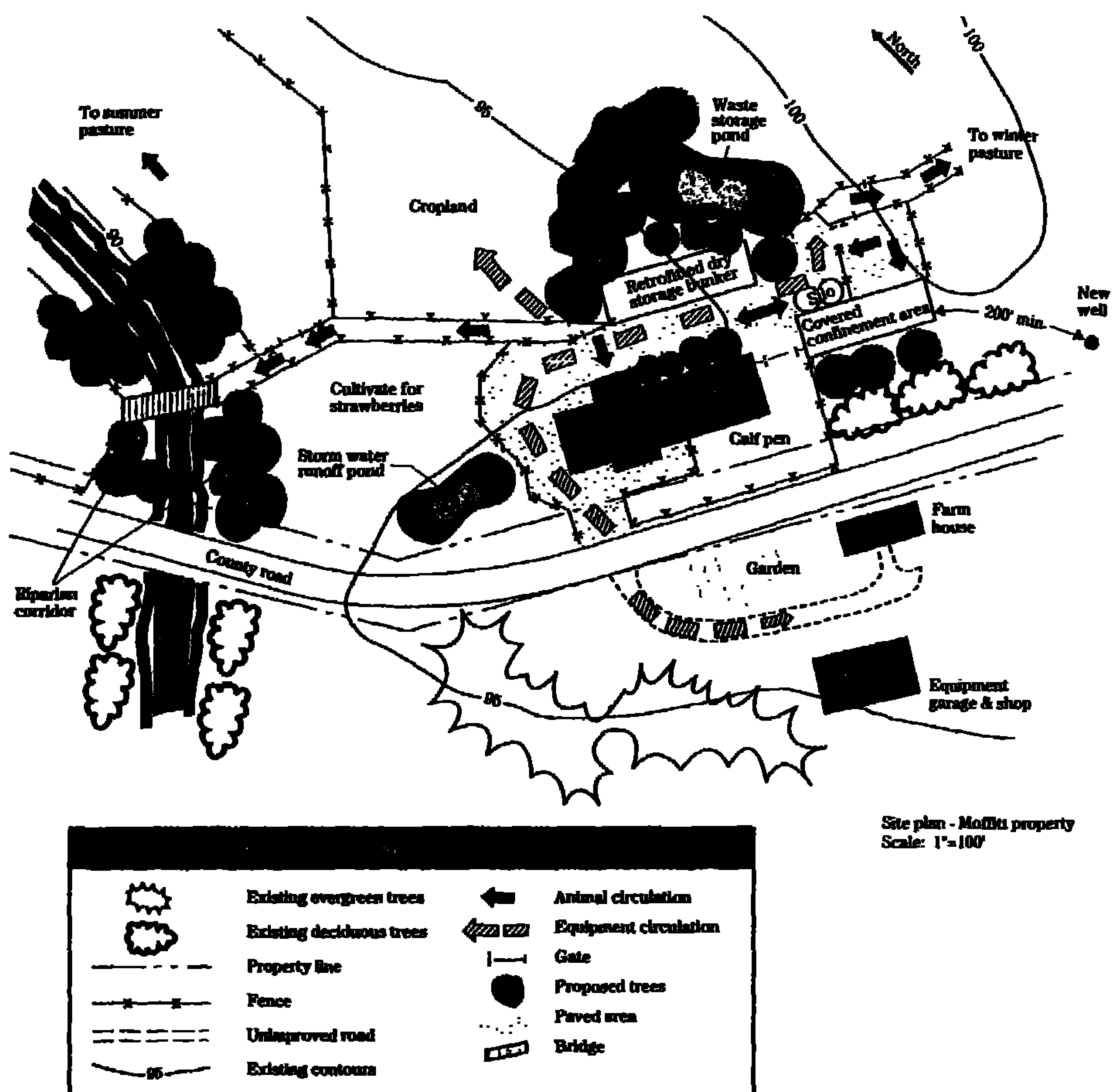
وفى حالات كثيرة، ينتج عن استخدام المخلفات الحيوانية على المدى الطويل كميات زائدة من عناصر غذائية معينة فى الأراضى، بصفة خاصة فى الأراضى التى على مقربة شديدة من موقع توليد المخلفات (مثل: الفوسفور، انظر جدول ٥ – ٦). وإذا كان هذا العنصر الغذائى، أو أى عنصر ضرورى أو غير ضرورى آخر، يمكن أن يكون له تأثير بيئى معنوى، فيجب أن تشمل خطة إدارة العنصر الغذائى استراتيجيات تقلل إلى أدنى حد ممكن هذا التأثير. وبالعكس، فى حالة وجود نقص للعنصر الغذائى، فإنه يجب تعريف وتحديد أفضل استخدام من ناحية الكفاءة لموارد المزرعة والأسمدة لكى يكون إمداد جميع العناصر الغذائية للمحصول فى أفضل حالة. ويواجه حل المشكلات الناجمة عن زيادة العنصر الغذائى – التى يتم تحديدها ومعرفتها عن طريق ميزانية العنصر الغذائى للمزرعة والمطبقة بطريقة سليمة – يواجه تحدياً بسبب نقص البدائل الاقتصادية لاستخدام الأسمدة الحيوانية فى مجالات أخرى، غيرإضافتها للأراضى، قرب موقع إنتاج هذه الأسمدة. وهذا الحال هو الأكثر شيوعاً فى الزراعة المعتمدة على الحيوانات. وهناك أمثلة أخرى تشمل المزارع التى لها مستويات عالية فى اختبارات التربة فى الفوسفور بسبب التسميد الزائد لمدة طويلة بأسمدة تجارية، والمزارع التى تعمل بواسطة البلديات أو الصناعات لأغراض التخلص من مخلفاتها.

ويتطلب تطبيق خطة إدارة العنصر الغذائى المعتمد على ميزانية العنصر خطوات عديدة تشمل التخزين الكفء، والتداول، والإضافة الكفء للعناصر الغذائية للمواقع المناسبة فى المزرعة. ويبين شكل ٩ – ٣ **خطة الموقع**، وقد صممت من أجل مزرعة ألبان، وتوضح كثيرا من العوامل التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار لتؤكد أن النظام البيئى الواحد (المزرعة) لا يؤثر عكسيا على نظام بيئى مجاور (منطقة الضفة والجدول). وتمثل خطة الموقع هذه أسلوبًا متكاملاً لإدارة الدورات البيوجيوكيميائية ذات الأهمية لهذه المزرعة (العناصر الغذائية) من خلال تطوير خطة شاملة لتخزين، وتداول، وتوزيع العناصر الغذائية من الأسمدة الحيوانية والأسمدة المعدنية لمجموعة منوعة من المحاصيل. ويتم مراعاة الحماية البيئية عن طريق استخدام برك تجميع مياه الأمطار

الجارية، ودهاليز على الضفاف، وتحديد المكان الصحيح لوسائل إنتاج السماد والحيوان بالنسبة لآبار مياه الشرب.

٩ - ٢ - ٢ إدارة مخلفات البلديات المضافة للأراضى:

تنتج المناطق الحضرية كميات كبيرة من مجموعة منوعة وواسعة الاختلاف من مخلفات عضوية، والتى يعتقد أنها مناسبة لبرامج الإضافة للأراضى. وتشمل هذه المخلفات: حمأة المجارى، والأسمدة العضوية الصناعية (الكمبوست) من الحمأة والمنتجات الثانوية للخشب، والأسمدة العضوية من المخلفات الصلبة للبلديات (بدون حمأة)، والأسمدة العضوية من مخلفات الساحات (الأوراق المتساقطة من الأشجار، ونواتج قص الحشائش)، ومياه الصرف الصحى من محطات المعالجة أو من المصادر الصناعية. وجميع هذه المخلفات يشيع إضافتها لأراضى المحاصيل، والغابات، والمناطق المكسوة بالأعشاب ، ونباتات الزينة النامية فى البساتين وعلى جوانب الطرق وفى مشاريع استصلاح الأراضى على مستوى كبير. وفى الغالب، تقوم وكالات البيئة المحلية والفيدرالية بتنظيم إضافة هذه المواد إلى الأراضى. وعادة، يتم الحصول على التصريحات من هذه الوكالات بعد اتباع عملية مراجعة تتطلب معلومات تفصيلية خاصة بالموقع عن جميع جوانب برنامج الإضافة للأراضى مثل: نوع التربة، ودورة المحاصيل الزراعية، وخواص المياه السطحية والجوفية، والطبوغرافيا، والرائحة، وبرامج المراقبة. وبالاختلاف عن الحالات الزراعية، توجد قلة فقط من دورات بيوجيوكيميائية يجب أن يتم إدارتها ومراقبتها؛ فتشترط الوكالات المنظمة للبيئة أن تهتم خطط إدارة مخلفات البلديات والصناعات بعناية بالعدد الكبير من المكونات العضوية وغير العضوية فى هذه المخلفات، كما هو مبين فى جدول ٩ - ٢ فى ديلاوير. وبناء على ذلك، يجب أن تعتمد برامج الإدارة والمراقبة، فى الغالب، على فهمنا للدورات البيوجيوكيميائية لعشرات من العناصر أو المركبات. وتستخدم معظم هذه الوكالات مفهوم المكوّنات المحدّدة لاستخدام المخلفات فى الأراضى (LLC) لتقدير كل من معدلات الإضافة السنوية والعمر الكلى للموقع، أو طول الزمن الذى يمكن أن تضاف



شكل ٩ – ٣ مخطط موقع مُصمَّم لإدارة المخلفات الحيوانية .

(U. S. Dept. of Agriculture, soil Conservation Service, 1992.)

فيه مادة المخلفات إلى الموقع. ويعتبر المكوّن المحدّد لإضافة المخلف للأراضى هو ذلك العنصر أو المركب فى المخلف الذى يتم تحديده ليمثل الضرر الأكبر والذى يجب أن يستعمل فى تقدير المعدل الفعلى للمخلف المضاف إما فى تلك السنة أو فى جميع

السنوات. والمكونات النموذجية المحدّدة لإضافة المخلفات للأراضى هى العناصر الغذائية، والعناصر النادرة، والمركبات العضوية. ويوضح جدولَ ٩ – ٣ مثالاً مبسطاً لهذا المفهوم الخاص بتقدير المكونات المحددة لإضافة المخلفات إلى الأراضى (LLC).

ويعتبر تراكم الفوسفور إلى مستويات زائدة شائعًا فى الأراضى المستصلحة بأنواع معينة من المخلفات العضوية. وتضاف معظم المخلفات العضوية المستخدمة فى برامج الإضافة للأراضى الزراعية لتسد احتياجات المحصول من النتروجين؛ وبسبب نسبة (P : N) فى المخلفات، يضاف فى الغالب فوسفور أكثر من الذى يزال فى المحصول. وتحدث المستويات الضارة بيئيا لفوسفور التربة فى الغالب عندما تتكرر إضافة المخلفات العضوية إلى نفس الأرض لسنوات كثيرة؛ وهى ممارسة شائعة فى مواقع مثل مناطق الزراعة المعتمدة على الحيوانات، والمناطق الحضرية التى تضاف فيها حمأة المجارى للأراضى، والرى بمياه الصرف الصحى الناتجة من وحدات تصنيع الغذاء. وتوضح نتائج اختبارات الأراضى لهذه المناطق عادة (١) أن نسبة كبيرة من العينات تقع فى المدى الزائد بالنسبة للفوسفور، (٢) أن فوسفور التربة تزيد قيمته عن الكمية اللازمة لانتاج محاصيل مقبولة. فعلى سبيل المثال، يوضح ملخص آخِر اختبار للتربة فى ولاية ديلاوير أن ٧٦٪ من عينات الأراضى – التى تقع فى المناطق المنتجة للدواجن وتزرع بمحاصيل تجارية – كانت نتائجها فى الحد العالى أو الزائد بالنسبة للفوسفور، كما أن ٢٠٪ من هذه العينات تعدى ١٣٥ ملليجرام فوسفور لكل كيلوجرام، مقارنة بقيمة اختبار التربة العالى والذى قيمته ٣٥ ملليجرام فوسفور/ كيلو جرام. وينتج عن التأثير طويل المدى لتراكم الفوسفور فى التربة إلى مستويات زائدة إمكانية حدوث مشاكل بيئية، بصفة خاصة فى المناطق التى يحدث فيها انجراف للتربة وسريان مياه الأمطار قرب المياه السطحية مثل البحيرات، والبرك، والخلجان،. وإغناء هذه المياه السطحية بالفوسفور (والنتروچين) يمكن أن يسبب حدوث ظاهرة التشبع الغذائى، ويؤدى إلى تدهور جودة المياه السطحية ؛ كما ينخفض التنوع البيولوچى، وفى الظروف القصوى، تُزهر الطحالب وتموت الأسماك. وليس هناك حل سهل لمشكلة الفوسفور المرتبط باستخدام المخلف العضوى. ولا تعتبر إضافة المخلفات

جدول ٩ – ٢ الاحتياجات المطلوبة فى برامج المراقبة بالنسبة لحمأة المجارى والنواتج الثانوية للحمأة فى ولاية ديلاوير.

مكونات المخلف غير العضوية *	أفضلية الملوثات**
N – الكلى	**مركبات متطايرة:**
N – أمونيومى	بنزين
N – نتراتى	كربون تتراكلوريد
فوسفور	كلوروفورم
بوتاسيوم	تولوين
كالسيوم	تراى كلورو إثيلين
مغنسيوم	كلوريد فينيل
زئبق	**مركبات حامضية:**
صوديم	نبتا كلورو فينول
نحاس	فينول
نيكل	**مركبات قاعدية / متعادلة:**
زنك	هكسا كلورو بنزين
رصاص	فينا نثرين
كدميوم	بيرين
كروميوم	**مبيدات ومركبات PCBs**
سيانيد	ألدرين
رقم الحموضة	كلوردان
	٢ ، ٤ – د.
	داى إلدرين
	هبتاكلور
	توكسافين
	مركبات ثنائى الفينيل عديدة الكلوريد

(Delaware Dept. of Natural Resources and Environmental Control, DNREC , 1988.)

* المطلوب هو التحليل الكلى.

** المكتوب فى الجدول عبارة عن عينات ممثلة لكل فئة ، وفى عام ١٩٨٨ قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية بتحديد ١٢٦ مركبا فى أفضلية الملوثات.

العضوية – لكى تسد احتياجات المحاصيل من الفوسفور – بديلاً قابلاً للتطبيق؛ لأن معدلات الإضافة المطلوبة قد تكون منخفضة بدرجة كبيرة لتستخدم جميع السماد الحيوانى أو الحمأة المتولدة. وهناك حلول على مستوى كبير تشمل: تصنيع أسمدة عضوية صناعية «كمبوست»، والتكوير أو التصبيع، ونقل المخلفات العضوية إلى مناطق تنقص فيها العناصر الغذائية. وربما تمثل هذه الحلول إجابة على المدى الطويل، ولكنها تتطلب بنية أساسية للمعالجة المكثفة للمخلف وانتقاله والتى قد لا تكون موجودة فى كثير من المناطق.

ويشيع وجود العناصر النادرة (As , Cd , Cr , Cu , Hg , Ni , Pb , Se , Zn) فى المخلفات العضوية، وبصفة خاصة تلك المخلفات الناتجة من المصادر الصناعية والبلديات. ويمكن أن يحدّد وجود هذه العناصر كلاً من معدلات الإضافة للمخلفات العضوية على مدار السنة أو على المدى البعيد. ويعتمد أسلوب التعامل الأكثر شيوعاً – حيث تكون العناصر النادرة مقلقة – على حساب معدل التحميل الكلى والسنوى للموقع من العناصر. وبالرغم أن إضافات المخلف التى تواجه احتياجات المحصول من النتروجين نادراً ماتتعدى معدلات تحميل العنصر السنوية، فإن معدل التحميل المتراكم يعزل أو يحذف فى النهاية نسبة معينة من الأراضى الصالحة للزراعة من استخدامها فيما بعد فى برامج إضافة المخلفات العضوية للأراضى. وهذا يُعتبر قضية مهمة فى المناطق الحضرية بسبب أن تيسر الأراضى المناسبة لإضافة المخلف العضوى محدوداً، كما أن المخلفات الحيوانية لم تخضع بعد للقيود مثل مخلفات البلديات والمخلفات الصناعية، بالرغم من وجود عناصر نادرة مثل الزرنيخ، والنحاس، والزنك فى بعض الأسمدة الحيوانية بتركيزات مماثلة لتلك الموجودة فى حمأة المجارى. ولقد ذكرت الدراسات على الزرنيخ، والنحاس، والزنك فى أسمدة الدواجن مدى تركيز من ١٠ – ٣٠، ٣٠٠ – ١٠٠٠، ٢٠٠ – ٦٠٠ ملليجرام/كجم لهذه العناصر الثلاثة على الترتيب، مقارنة بمتوسط ١٠، ٨٠٠، ١٧٠٠ مجم/كجم فى حمأة مجارى البلديات فى شمال شرق الولايات المتحدة.

ويمكن للملوثات العضوية أيضا أن تحدّ من استخدام المخلفات العضوية كمحسنات للأراضى. ويعتبر اختبار **«أفضلية الملوثات»** (مثل: المبيدات، الدايوكسين،

جدول ٩ - ٣ المكونات المحددة (LLC) لإضافة حمأة المجارى إلى الأراضى.

العامل	الكمية المتولدة (كجم/ سنة)	السعة البنائية للموقع (كجم / هكتار / سنة)	مساحة الأراضى المطلوبة (هكتار)
نتروچين كلى	٣٠٠٠	٤٠٠	٨ (LLC)
فوسفور	٢١٠٠	٤٠٠	٥
كدميوم	١,٥	٠,٥	٣
نحاس	١٠	١٤	١
نيكل	٢٥	١٤	٢
رصاص	٤٥	٥٦	١
زنك	١٦٠	٢٨	٥

(Delaware Dept. of Natural Resources and Environmental Control, DNREC , 1988.)

ملاحظات : تتضمن الافتراضات : (١) سعة الموقع لبناء النتروچين معتمدة على امتصاص النتروچين، وتطاير الأمونيا ، والفقد فى مياه الصرف بتركيزات أقل من ١٠ مجم نتروچين نتراتى / لتر (٢) سعة الموقع لبناء الفوسفور تدرك الحقيقة التى تعنى أن الحمأة تضاف لتلبى احتياجات المحصول من النتروچين ، وبناء على ذلك فستحدث إضافة زائدة للفوسفور (بجانب احتياجات المحصول). ولذلك فإن مقاييس الصيانة مطلوبة عند الموقع لتقليل فقد الفوسفور - إلى أدنى حد - فى مياه الأمطار السارية أو بالانجراف أو مياه الصرف . (٣) سعة الموقع لبناء المعادن (الثقيلة) اعتمدت على المعدل الأقصى التراكمى للمعدن الذى يستطيع أن يتحمله الموقع ، بافتراض أن CEC = ١٠ ملليمكافئ / ١٠٠ جم، " وعمر الموقع " = ٢٠ سنة . وفى ظل القوانين والتشريعات الحالية فى ديلاوير ، فإن هذه القيم هى : ١٠ ، ٢٨٠ ، ٢٨٠ ، ١١٢٠ ، ٥٦٠ كجم / هكتار للكدميوم ، والنحاس ، والنيكل ، والرصاص ، والزنك . ولو أخذنا النحاس كمثال : فإن سعة (قدرة) الموقع البنائية = ٢٨٠ كجم / هكتار ÷ ٢٠ سنة = ١٤ كجم / هكتار / سنة . (٤) يتم تعريف LLC بأنه المكون المطلوب من معظم الأراضى للاستخدام الآمن لحمأة المجارى، اعتماداً على سعة (قدرة) الموقع البنائية. وفى هذه الحالة ، فإن LLC هو النتروچين ، وهو يحتاج ٨ هكتار.

مركبات الباى فينيل المكلورة، الملوثات الصناعية الأخرى) ممارسة معيارية بالنسبة لمعظم حمأة البلديات، والمخلفات الصناعية، وقد امتد حالياً استخدامه لمخلفات عضوية أخرى مثل كومبوست مخلفات الساحة، وفى حالات معينة للأسمدة الحيوانية (مثل المبيدات المستخدمة لمكافحة الحشرات فى مزارع الإنتاج الحيوانى). ومن الضرورى توضيح أن تكلفة هذا الاختبار كبيرة. وعلاوة على ذلك، فإن قدرة تقنيات التحليل الأحدث على اكتشاف المستويات الأصغر للمركبات العضوية (مثل أجزاء فى البليون بدلاً من أجزاء فى المليون) قد تؤدى إلى زيادة قلق الجمهور فيما يتعلق بسلامة استخدام المخلفات العضوية فى برامج إضافتها للأراضى.

وفى مستهل عام ١٩٩٢، أصدرت وكالة حماية البيئة فى الولايات المتحدة «قانون حمأة المجارى»، والذى نشأ تحت «قانون المياه النظيفة» للولايات المتحدة. ولقد تطور هذا القانون بالاعتماد على مراجعة شاملة، لمدة ١٥ سنة، لبرامج الأبحاث والإدارة باستخدام حمأة المجارى للمزارع، والحدائق، والغابات والمواقع المخصصة لأغراض معينة (مثل مدافن المخلفات). ويصف القانون ممارسات الإدارة العامة والخاصة لاستخدام حمأة المجارى فى برامج إضافتها للأراضى أو حرقها. وبالنسبة للإضافة للأراضى، فإن الطريقة العامة هى أن تضاف حمأة المجارى عند **«معدل زراعى»** متوافق مع احتياجات المحصول من العنصر الغذائى. وللتأكد من أن هذا المعدل لن يضيف كميات زائدة من العناصر النادرة أو الملوثات الأخرى، فالأمر يتطلب مراقبة تركيب الحمأة، كما أن الكمية الكلية لكل عنصر التى يمكن أن تضاف إلى موقع مايجب تعيينها (جدول ٩ – ٤). على سبيل المثال، إذا أدى استخدام معدل حمأة المجارى اللازم لاحتياجات محصول القمح من النتروجين إلى إضافة سنوية أكثر من ١ر٩ كجم/هكتار/ السنة من الكادميوم، فإن معدل إضافة الحمأة يجب أن ينخفض، وينبغى استخدام أسمدة نتروجين تجارية لتكمل النتروجين المضاف بواسطة الحمأة. وتحدد معدلات التحميل المتراكمة طول الزمن الكلى الذى يستطيع فيه الموقع أن يستقبل حمأة المجارى؛ فإذا كانت هناك بلدية ماتنتج حمأة وترغب فى إضافتها بمعدلات مناسبة لمحاصيل الحبوب، وهذه المعدلات تزود الموقع بمعدل ١ر. كجم/هكتار/ سنة من الكادميوم، فالنتيجة أنه يمكن استخدام الموقع لمدة ٣٩ سنة (جدول ٩ – ٤). ويضع القانون أيضاً

جدول ٩ – ٤ التركيزات القصوى ومعدل الحمولة التراكمية والسنوية للعناصر النادرة الموجودة في حمأة المجارى.

العنصر النادر	التركيز الأقصى (مجم / كجم)	الحمل التراكمي كجم/ هكتار	الحمل السنوى الأقصى كجم / هكتار / سنة
As	٧٥	٤١	٢ر٠
Cd	٨٥	٣٩	١ر٩
Cr	٣٠٠٠	٣٠٠٠	١٥٠
Cu	٤٣٠٠	١٥٠٠	٧٥
Pb	٨٤٠	٣٠٠	١٥
Hg	٥٧	١٧	٠ر٨٥
Mo	٧٥	١٨	٠ر٩٠
Ni	٤٢٠	٤٢٠	٢١
Se	١٠٠	١٠٠	٥ر٠
Zn	٧٥٠٠	٢٨٠٠	١٤٠

(EPA, 1992.)

حدوداً قصوى لتركيز العنصر النادر لكى يؤكد على عدم إضافة الحمأة الملوثة بدرجة زائدة للأراضى (مثلاً ٨٥ مجم/كجم بالنسبة للكادميوم). ويقول القانون أيضا أن ممارسات الإدارة لمقاومة سريان مياه الأمطار (مثل المناطق الواقية أو العازلة) مطلوبة، ويطالب بتزويد مهندسي البساتين ومالكي المنازل بالتعليمات والمعلومات التفصيلية عن الوسائل السليمة لاستخدام النواتج المشتقة من الحمأة (مثل، كمبوست الحمأة)

لأغراض الزراعة البستانية. ويطالب هذا القانون أيضاً بالعناية، وتوخي الحذر، ومراقبة الحمأة من ناحية تركيبها في الملوث. ويؤكد على الممارسات السليمة أيضا للتأكد من حماية البيئة من الأنواع أوالأصناف التى تهددها بالخطر.

ويعتبر تطبيق هذا القانون بواسطة وكالة حماية البيئة الأمريكية مثالاً جيداً لكيفية فهمنا للدورات البيوجيوكيميائية وكيفية استخدامها لتطوير برامج إدارة تحدد الأولوية لمكافحة خطر التلوث. وإبتداء من عام ١٩٨٤، قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية بمراجعة النتائج المستقاة من الدراسات التى قامت على ٢٠٠ إلى ٤٠٠ ملوث موجود فى الحمأة. ولقد قام فريق البحوث القومى بإعداد التوصيات اعتماداً على البحوث العلمية عن تحولات هذه الملوثات فى البيئة (مثل: دوراتها البيوجيوكيميائية). وقد أوصى فريق البحوث القومى بأنه يجب فحص ومراجعة ٥٠ مادة ملوثة بدرجة مكثفة. وقد أدى تقويم البحوث والمعلومات الفنية الأخرى فيما بعد إلى قيام وكالة حماية البيئة الأمريكية فى عام ١٩٩٢ بتأسيس نهائى للحدود القومية لعدد ١٠ ملوثات بالنسبة لبرامج إضافة الحمأة للأراضى (جدول ٩ – ٤).

٩ – ٢ – ٣ تحولات العنصر الغذائى فى الأراضى الرطبة:

الأراضى الرطبة، كما تعرف بواسطة مصلحة الحيوانات البرية والأسماك بالولايات المتحدة فى عام ١٩٧٩، هى: «الأراضى الانتقالية (التحولية) بين نظم البيئة الأرضية والمائية حيث يكون مستوى الماء الأرضى عادة عند السطح أو قريب منه، أو أن الأرض تكون مغطاة بماء ضحل». وبصفة عامة، لكى تصنف أرضا على أنها أرض رطبة، فإن المنطقة يجب أن يتوفر بها واحد أو أكثر من الخواص التالية: (١) تُدعَّمُ بصفة دائمة – أو على الأقل بصفة دورية – بغطاء من نباتات محبة للماء؛ (٢) تكون مادة التربة فيها غير منفذة بصفة دائمة للماء أى وافرة الرطوبة، (٣) تكون فيها، طبقة ليست تربة، ومشبعة أو مغطاة بماء ضحل فى بعض الوقت خلال فصل النمو من كل سنة. وتعرِّف مصلحة صيانة الأراضى بالولايات المتحدة الأراضى وافرة الرطوبة "hy-dric soils" بأنها « ... الأراضى التى فى حالة سوء الصرف تكون مشبعة، أو مغمورة،

أو مكونة برك لمدة كافية خلال موسم النمو، وينتج عنها ظروف لا هوائية تناسب نمو وإكثار النباتات المحبة للماء ....». ولا تزال معايير تصنيف الأراضى الرطبة تحت الفحص والدراسة المكثفة فى الوقت الحالى، وذلك بسبب قيمتها فى الحالة الطبيعية وأيضا بسبب قيمتها المحتملة لاستخدامات أرضية أخرى بمجرد أن يتحسّن الصرف بها (مثل: الزراعة، التنمية، تعدين البيت). وتوجد أنواع كثيرة من الأراضى الرطبة، وتشمل: مستنقعات مياه الأنهار وملاحات المد والجزر، ومستنقعات المياه العذبة داخل الأراضى، والبرك، وأراضى البيت، والأراضى الوحلة (السبخة)، والحفر والأخاديد فى أراضى البرارى، والأراضى الرطبة الشاطئية (الملاصقة للأنهار). وكل واحد منها عبارة عن نظام بيئى فريد من نوعه، ولكن يشترك الجميع فى عدد من الوظائف الحيوية التى تجعل صيانة الأراضى الرطبة قضية بيئية حرجة. ومن بين هذه الوظائف الأكثر أهمية، أن الأراضى الرطبة تقلل الانجراف، وتوفر مكافحة لفيضان المياه وسريان مياه العواصف الممطرة، وتحافظ على جودة المياه عن طريق حبس الرواسب والملوثات، وتوفر موطن للحيوانات البرية، وتحافظ على التنوع البيولوچى، وتنتج الغذاء وأشجار خشبية للبناء، وتعمل كمنطقة واقية بين المناطق الزراعية والصناعية. ويقوم الإنسان بتغيير الأراضى الرطبة عن طريق الصرف، وإقامة قنوات ملاحية، والحفر والملء، والتعدين، والتلوث المعروف مصدره أو غير المعروف. ولقد قُدِّر أنه فى الفترة الزمنية من قبل الاستيطان حتى عام ١٩٧٠، تم تدمير ٣٠ إلى ٥٠٪ من الأراضى الرطبة فى الولايات المتحدة.

والدورات البيوجيوكيميائية فى الأراضى الرطبة يسيطر عليها هيدرولوچى النظام البيئى. وتحت الظروف المشبعة يصبح الأوكسچين مستنفذاً، أو ينتشر بمعدل بطئ بدرجة تجعل التحولات اللاهوائية هى العمليات السائدة فى كثير من الدورات البيوجيوكيميائية. ومن وجهة النظر البيئية، فإننا نسعى إلى استخدام الأراضى الرطبة لتقلل تلوث الأنظمة المائية المجاورة. وحاليا، بدأت كثير من المدن، والصناعات، والمشاريع الزراعية تُفكِّر فى استخدام الأراضى الرطبة المنشأة فى المناطق النجدية لتخدم كنظم معالجة طبيعية لمياه الصرف الصحى. ولهذا السبب، فإنه من الضرورى أن نفهم تأثير الظروف اللاهوائية على التفاعلات البيولوجية والكيميائية التى تشمل

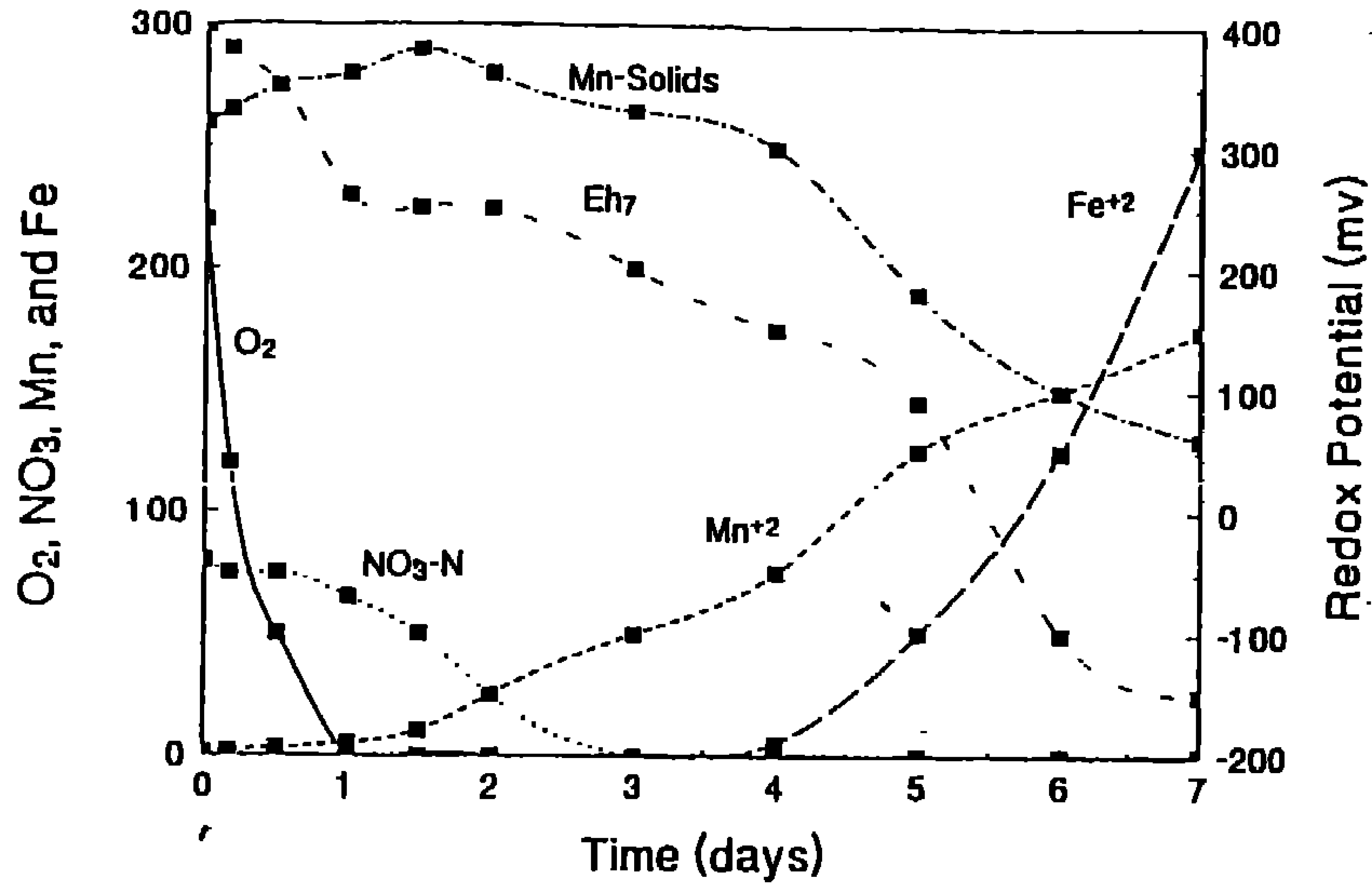
جدول ٩ – ٥ تفاعلات التأكسد والاختزال المهمة فى الأراضى الرطبة.

العناصر أو المركبات الداخلة فى التفاعل			جهد التأكسد والأختزال للتفاعل* (mv)
العنصر	أنواع مؤكسدة	أنواع مختزلة	
الأكسجين	الأكسجين	الماء	٧٠٠ – ٤٠٠
$0.5\,O_2 + 2\bar{e} + 2H^+ \leftrightarrow H_2O$			
نتروجين	نترات	N_2 , N_2O , NH_4^+	٢٢٠
$NO_3 + 2\bar{e} + 2H^+ \leftrightarrow NO_2^- + H_2O$			
منجنيز	Mn^{4+} (MnO_2: منجنيك)	Mn^{2+} (MnS : منجنوز)	٢٠٠
$Mn\,O_2 + 2\bar{e} + 4H^+ \leftrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$			
حديد	Fe^{3+} ($Fe(OH)_3$: حديديك)	Fe^{2+} ($Fe(OH)_2 , FeS$: حديدوز)	١٢٠
$Fe\,OOH + e' + 3H^+ \leftrightarrow Fe^{2+} + 2H_2O$			
كبريت	كبريتات	S^{2-} (Fes, H_2S : كبريتيد)	-٧٥ إلى -١٥٠
$SO_4^{2-} + 8H^+ + 7e \leftrightarrow 0.5\,S_2^{2-} + 4H_2O$			
كربون	ثانى أكسيد الكربون	الميثان	-٢٥٠ إلى -٣٥٠
$CO_2 + 8e' + 8H^+ \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O$			

* جهد التأكسد والاختزال عبارة عن أرقام تقريبية وتختلف تبعا لرقم الحموضة pH ودرجة الحرارة.

الملوثات. ولأن كثيرا من الأراضى الرطبة لا تظل فى حالة غير هوائية على مدار السنة، فإن تأثير دورات التجفيف والترطيب المتبادلة على هذه التفاعلات تعدُّ مهمة أيضاً. وبالمثل، فإن معظم الأراضى الرطبة ليست لا هوائية خلال قطاع التربة، وتوجد فى الغالب طبقة هوائية ضحلة فى المليمترات القليلة العلوية.

والعامل المتحكم في معظم التفاعلات المهمة في الأراضي الرطبة هو **جهد التأكسد والاختزال** للتربة؛ وهو قياس حالة التربة في التأكسد والاختزال. وفي الأراضي الهوائية، يُنتج تحلل المادة العضوية (أكسدة) إلكترونات وهي غالبا تُستقبل بواسطة الأكسجين، مكونة ماء (اختزال). وعندما يغيب الأكسجين أو يكون معدل انتشاره خلال التربة بطيئاً جدا، كما هو الحال في الأراضي الرطبة أو رواسب البحيرات، فإن مواد أخرى تستقبل هذه الإلكترونات، ويؤدي هذا إلى تكوين نواتج نهائية غير الماء (جدول ٩ – ٥). وهذا تمَّ إيضاحه سابقا مع النترات (النتروجين النتراتي) (انظر الفصل الرابع)، حيث أن عملية عكس التأزت في الأراضي الرطبة حولّت الملوث المائي المحتمل (النتروجين النتراتي) إلى أكاسيد نتروجين غازية (انظر الشكل ٤ – ٧). وتعدّ نواتج عملية الاختزال في الأراضي الرطبة مفهومة جيدا؛ ومن هنا، فإن معرفة جهد التأكسد والاختزال يمكن أن يستخدم لكي نتنبأ بمعرفة مستقبلات الإلكترونات السائدة الموجودة، كما هو موضح في شكل ٩ – ٤، الذي يبين التحولات التي تحدث عندما تتشبع التربة بالماء. ويتم استنفاد الأكسجين الميسر خلال يوم واحد، ويصبح النتروجين النتراتي المادة التالية لاستقبال الإلكترونات الناتجة بواسطة عملية التحلل اللاهوائي للمادة العضوية، ويليه أكاسيد المنجنيز وبعدها أكاسيد الحديد. وعندما ينخفض جهد التأكسد والاختزال (Eh)، فإن الصور الصلبة السهلة الاختزال للمنجنيز تختفي، بينما يتراكم المنجنيز Mn^{2+} القابل للتبادل (المدمص)، ويليه Fe^{2+} في هيئة أكاسيد حديد يتم اختزالها. وفي النهاية، سوف يحدث اختزال الكبريتات SO_4^{2-} إلى كبرتيد S^{2-} عندما يتم استنفاذ جميع مصادر NO_3-N ، Mn^{4+} , Fe^{3+} وهذا يليه التحلل اللاهوائي للكربون العضوي والذي يؤدي إلى إنتاج غاز الميثان CH_4، ويشار إليه غالبا «غاز البرك أو المستنقعات». وإذا جفت هذه التربة وتكونت فيها مرة أخرى ظروف هوائية، فسوف تنعكس التفاعلات غالباً، وسوف يبدأ النتروجين النتراتي في التراكم، وتحدث معدنة للمادة العضوية، أما المنجنيز والحديد الذائبان، فسوف يبدأ كل منهما في تكوين مترسبات غير ذائبة مثل MnO_2، $Fe(OH)_3$. وبالنسبة لعنصر مثل الفوسفور، يعتبر ادمصاصه بواسطة أكاسيد الحديد آلية هامة لحفظه في الأراضي، كما يمكن أن تؤثر الدورات المتعاقبة من الترطيب والتجفيف على كل من امتصاص النبات للفوسفور واحتمال انطلاقه إلى النظم المائية المجاورة



شكل ٩ – ٤ رسم تخطيطى للتحولات التى يمكن أن تحدث عندما تتشبع التربة وتتكون ظروف لاهوائية . (Turner and Patrick , 1968.)

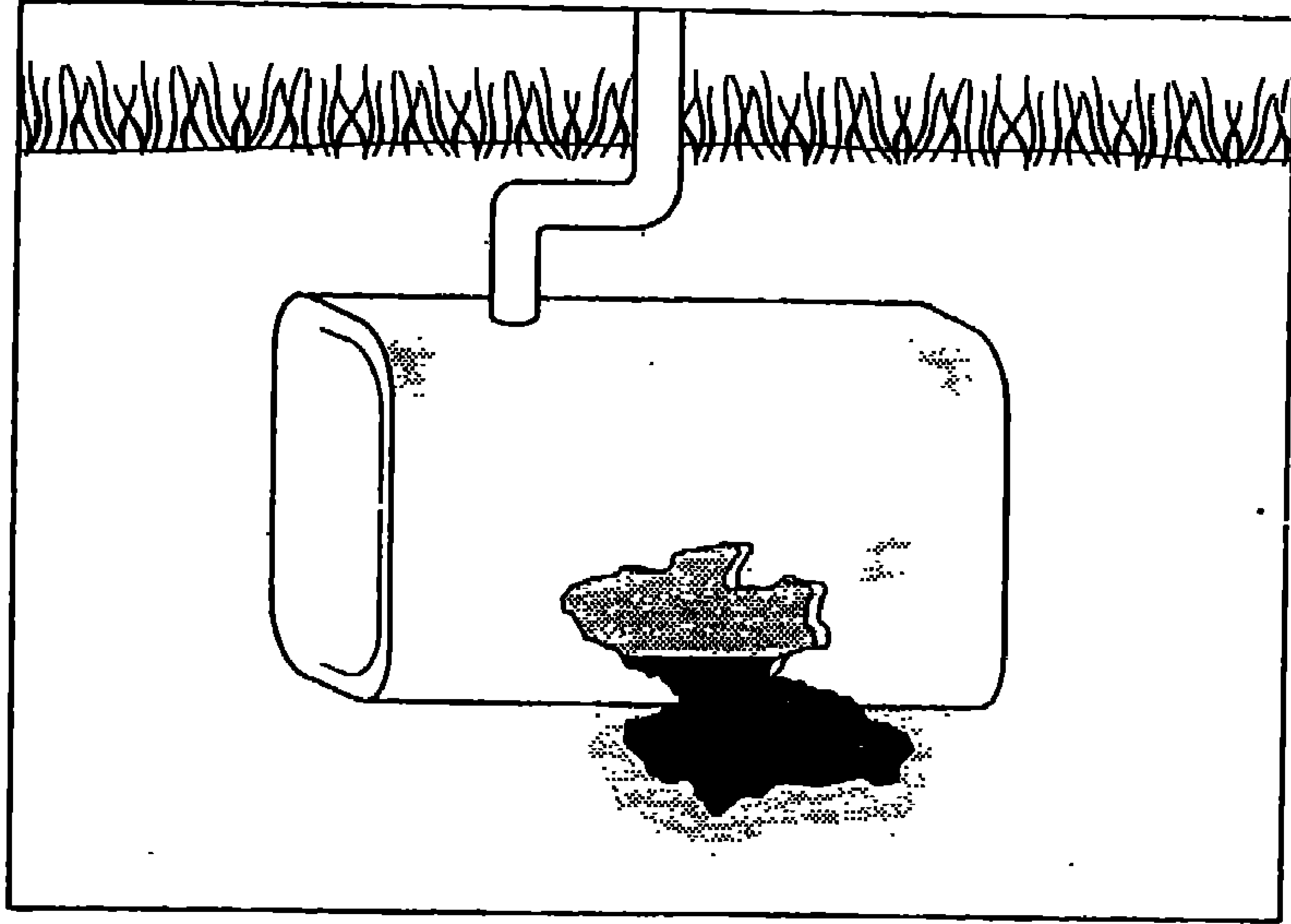
التى تكون حساسة لعملية التشبع الغذائى. ولقد أوضحت البحوث أن زيادة الظروف اللاهوائية فى رواسب البحيرة يمكن أن تختزل أكاسيد الحديد وفوسفات الحديد، مما يؤدى إلى انطلاق الفوسفور الذائب من هذه الصور الصلبة، وازدياد احتمال حدوث ظاهرة التشبع الغذائى. وبناءً على ذلك، فإن محاولات إنشاء أراضى رطبة أو مناطق شاطئية (ملاصقة للأنهار) بجوار الحقول الزراعية لتعزيز عملية عكس التأزت يجب أن تأخذ فى اعتبارها احتمال زيادة انطلاق الفوسفور الذائب فى الجداول والأنهار الواقعة على حدود هذه الحقول.

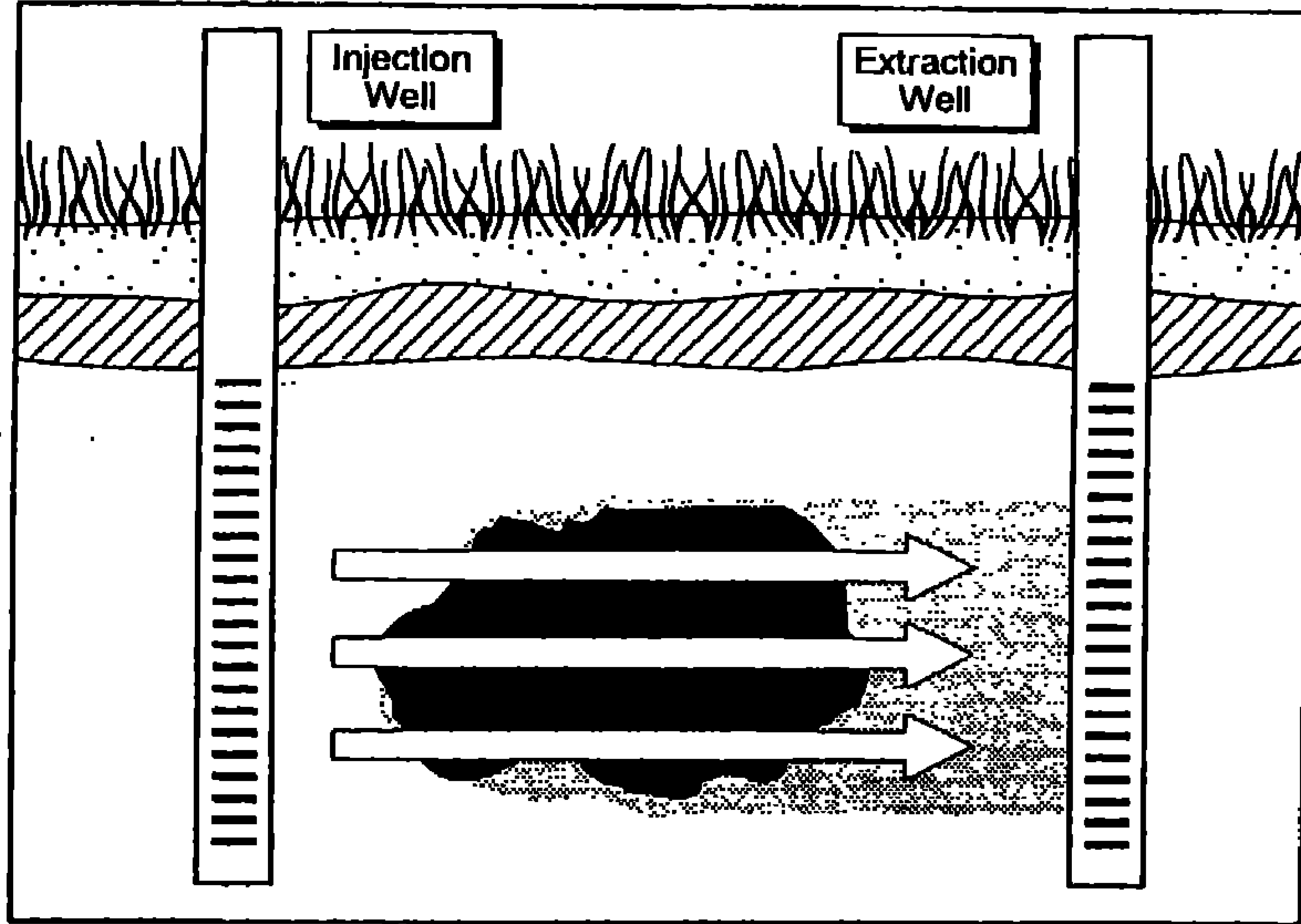
ويمكن أن تحدث تحولات أخرى فى الأراضى الرطبة مثل مصير المركبات العضوية (كالمبيدات، والهيدروكربونات فى المياه السارية بسبب العواصف الممطرة) أو العناصر النادرة، ولم تنل هذه التحولات قدراً كافياً من الدراسة، ولذلك فهى لم تفهم جيداً مقارنة بالدراسات (التحولات) الخاصة بالعناصر الغذائية للنبات؛ مما سينعكس أهميته خاصة فى حالة استخدام الأراضى الرطبة المنشأة كمناطق فلترة بيولوجية بسبب زيادة حجم المخلفات الحضرية والصناعية.

جدول ٩ – ٦ أقسام المركبات العضوية التى يمكن أن تصلح للعلاج البيولوجى.

قسم	مثال	عملية التحلل الحيوى المفضلة	
		هوائية	لا هوائية
– مركبات أروماتية أحادية الكلور.	كلوروبنزين	×	
– "BTX"(بنزين ، تولوين ، زيلين).		×	×
– فينولات غيرهالوجينية، كريسولات.	٢– ميثيل فينول	×	
– هيدركربونات أروماتية عديدة الأنوية.	كريسوت	×	
– ألكان ، ألكين.	زيت الوقود	×	
– PCB_S	تراى كلورو بايفينيل	×	×
– كلوروفينولات.	بنتا كلوروفينول	×	×
– منبيات عديدة الحلقات نتروجينية متكلورة.	بيريدين	×	×
ألكان.	كلوروفورم	×	×
ألكين	تراى كلورو إثيلين	×	×

(EPA, 1991.)





شكل ٩-٥ رسم توضيحى للعلاج البيولوجى فى نفس المكان للتسرب من خزان تحت الأرض.

(EPA, 1991.)

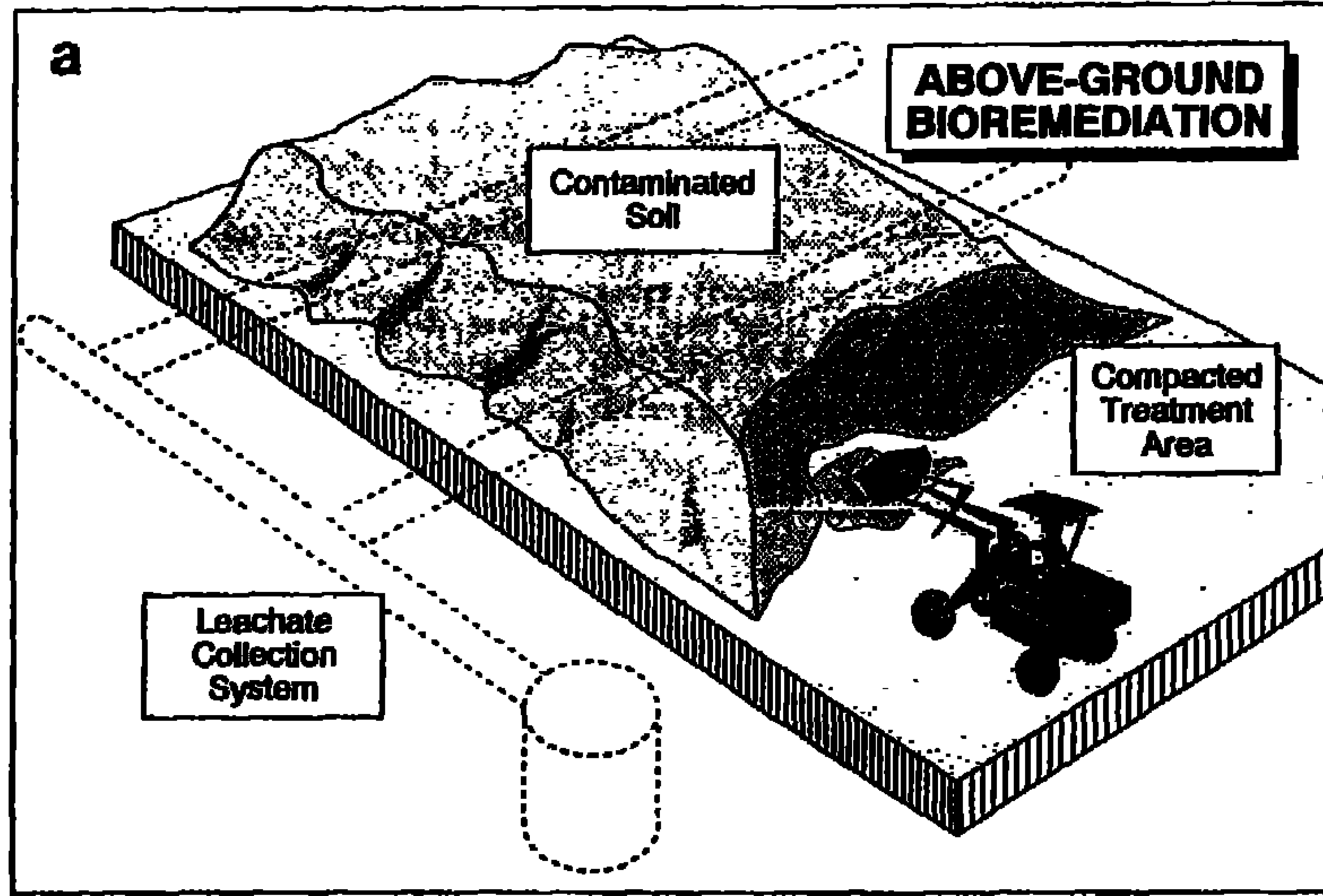
٩ – ٢ – ٤ العلاج الحيوى للأراضى الملوثة بالكيماويات العضوية:

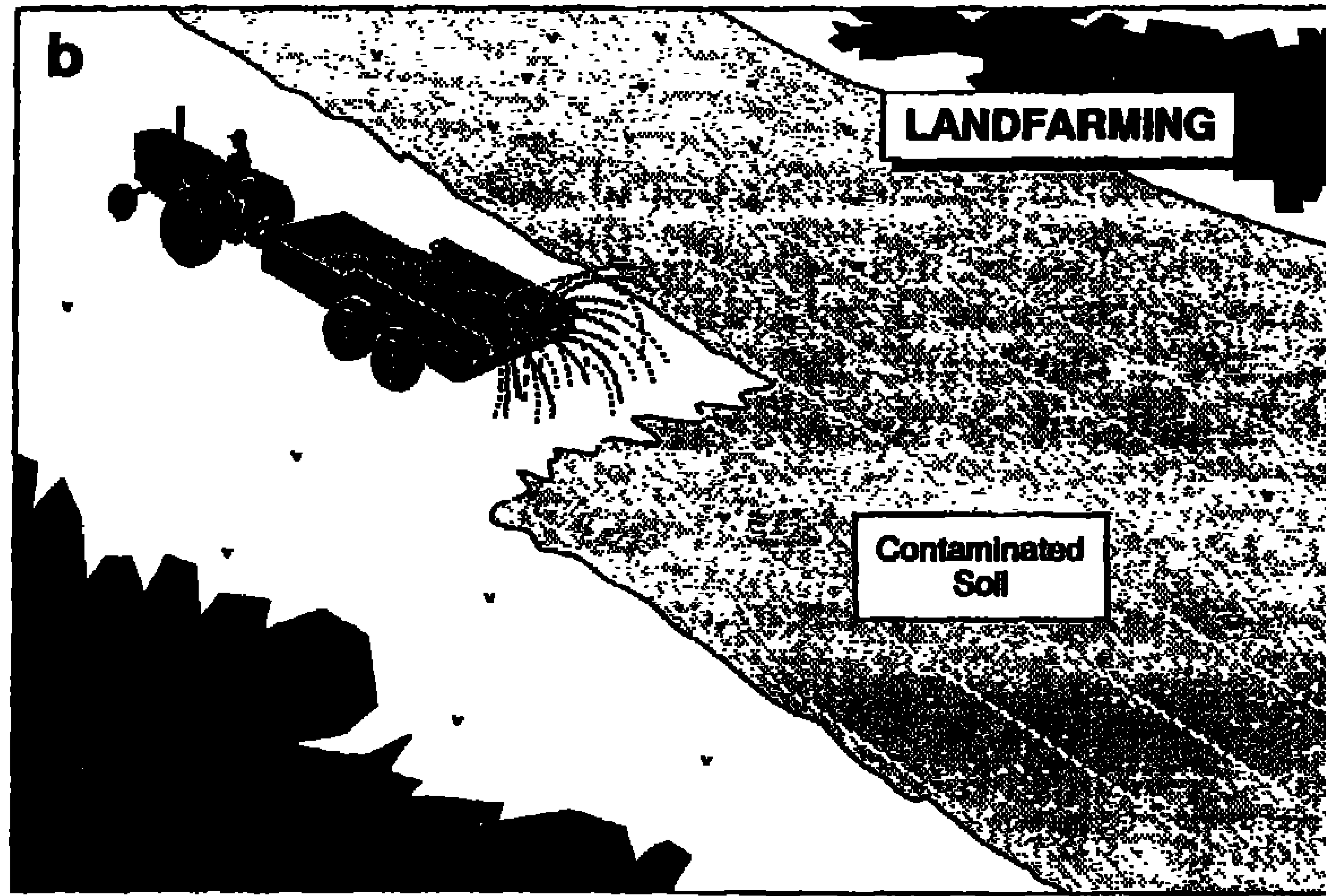
يُعرف **العلاج الحيوى** بواسطة وكالة حماية البيئة فى الولايات المتحدة عام ١٩٩١ بأنه «... العملية التى تستخدم الكائنات الدقيقة لتحول المواد الضارة إلى مركبات غيرسامة ... وهى أحد أهم التقنيات الواعدة لعلاج الكيماويات الساقطة أو الفائضة ومشاكل المخلفات الضارة». ولقد استخدم العلاج الحيوى بنجاح لمدة أطول من ٢٠ سنة، وذلك لتنظيف المواقع الملوثة بالمقذوفات من الزيوت والهيدروكربونات الأخرى، كما أن له القدرة على تحليل كيماويات أقسام أخرى (جدول ٩ – ٦). ويعتبر العلاج الحيوى تقنية طوارئ، فالمرء يسعى لكى يعالج ببراعة التدوير البيوجيوكيميائى للكيماويات العضوية بطريقة تؤدى إلى تحللها إلى نواتج ثانوية غير ضارة مثل ثانى أكسد الكربون والماء. وتشمل المكونات الأساسية لعملية العلاج الحيوى مايلى: (١) الكائنات الدقيقة الموجودة طبيعيا أو المهندسة وراثيا، (٢) ملوثًا قابلاً للتحلل الحيوى بدرجة فعالة، (٣) و«**مفاعلاً بيولوجيًا**» (الموقع الذى تحدث فيه عملية العلاج الحيوى). ويمكن أن يحدث العلاج الحيوى فى نفس المكان، وفى هذه الحالة يكون حجم التربة الملوثة هو المفاعل الحيوى. ولقد تم إجراء العلاج البيولوجى فى نفس المكان بنجاح على كل من الأراضى السطحية وعلى أراضى تحت التربة الملوثة والمياه الجوفية، وكانت تلك الأراضى على مقربة من التسرب من حوض تخزين جازولين تحت الأرض (شكل ٩ – ٥). وهناك ميزة رئيسية لوسيلة العلاج الحيوى فى نفس المكان، وهى أنها تُلغى الحاجة إلى الحفر واستخراج ونقل الأرض الملوثة إلى موقع آخر. وبدلاً من ذلك، فإن الأرض الملوثة يمكن إزالتها وتؤخذ إلى موقع آخر للعلاج الحيوى فوق سطح الأرض عن طريق التحويل إلى سماد عضوى صناعى «كمبوست»، أو عمل ملاط (طين) رقيق القوام، أو معالجة الطور الصلب بوضعه فى صفوف وتعريضه للرياح حتى يجف، أو حتى عن طريق «نشر الأرض» شكل ٩ – ٦. وفى العملية الأخيرة، تُنشر التربة الملوثة وتوزع فى شكل طبقة رقيقة على أرض مزروعة ؛ ويحدث العلاج عن طريق كل من التحلل الحيوى وتخفيف الملوث إلى تركيزات منخفضة بدرجة كبيرة عن طريق الخلط بالتربة غيرالملوثة فى الموقع. ولقد أثبتت طريقة نشر الأرض أنها تقنية فعالة لعلاج الأراضى الملوثة

بالكيماويات الزراعية الفائضة أو الساقطة ؛ لأن هذه المواد مقبولة فعلا بالنسبة لإضافتها للأراضى، ومصيرها البيئى معروف جيدا. وفى هذه الحالة، تمثل نظم نشر الأرض ببساطة وسيلة لتخفيف الملوث (مثل، المبيد) إلى تركيز يسمح بحدوث تحلل فعال فى الوقت المناسب بواسطة الكائنات الدقيقة فى التربة. وبصرف النظر عن الموقع، تتضمن وسيلة التعامل الأساسية فى العلاج الحيوى تنشيط أو إثارة نشاط الكائنات الموجودة طبيعيا فى التربة عن طريق التهوية، وإضافة العناصر الغذائية، وتكييف درجة الحرارة والرطوبة لتكون فى الدرجة المثلى. وتستخدم الكائنات الدقيقة الكربون الموجود فى الملوثات العضوية كمصدر للطاقة وتحلله بيولوجيا إلى مركبات أقل ضرراً.

والعلاج الحيوى، مثله مثل جميع الجهود التى تقاوم الدورات البيوجيوكيميائية، لا يحقق نجاحاً بصفة دائمة، وقد يحدث الفشل فى العلاج عندما يكون تركيز الملوث عاليا بدرجة كافية تجعله مُسمّمًا للكائنات الدقيقة فى التربة، أو عندما تصبح عملية التحلل أبطأ من التحول الآخر فى الدورة البيوجيوكيميائية التى قد يكون لها تأثير بيئى (مثل الغسيل). ويعنى التنوع فى خواص الملوثات العضوية المحتملة أننا قد لا نستطيع دائما أن نفهم الظروف البيئية المثلى التى تشجع التحلل الحيوى، أو السُمّية للنواتج الثانوية التى تنتج من العملية. ويمكن أن يكون العلاج الحيوى مرتفع التكلفة، ويتطلب مراقبة مكثفة للأراضى، والراشح، والهواء فوق الموقع لنتأكد أن العملية تتقدم كما هو مخطط لها، كما نتأكد أيضا أن الملوث أو النواتج الثانوية لم تهرب عن طريق مسار بيوجيوكيميائى آخر مثل الغسيل أو التطاير.

ويتطلب العلاج الحيوى الناجح تخطيطًا واعيًا. وفى حالة تنفيذه بدقة، يمكن أن يصبح العلاج الحيوى أقل تكلفة، كما يصبح عملية إغاثة بيئية. وتشمل الخطوات الأساسية فى خطة العلاج الحيوى مايلى: (١) تقويم الموقع، (٢) دراسات أولية عن **«القدرة العلاجية»** مقارنة بالبدائل الأخرى، (٣) هندسة الخطة، (٤) مراقبة عملية العلاج الحيوى نفسها. ويتطلب تقويم الموقع استقصاءً عميقًا عن طبيعة المخلفات الموجودة، وانتشار التلوث، والظروف البيئية الجارية التى قد تقيد أسلوب العلاج الحيوى. أما الدراسات الأولية فتقدم إجابات عن الأسئلة المهمة المتعلقة بالآتى: (١)





شكل ٩ - ٦ رسم توضيحى لعمليات العلاج البيولوجى التى تتم فوق سطح الأرض (a) العلاج الحيوى السطحى لتربة ملوثة . (b)«نشر الأرض» كطريقة لعلاج التربة الملوثة بمبيد سقط عليها، عن طريق نشرها على أرض مزروعة.

(EPA , 1991 and Felsot, 1991.)

حساسية الملوثات للتحلل الحيوى، (٢) وجود أوغياب المركبات الأخرى فى التربة والتى قد تُقيّد النشاط الميكروبى، (٣) التكاليف اللازمة لتوفر ظروف بيئية مثلى عن طريق التهوية، (٤) إضافة الجير، (٥) التسميد المعدنى، (٦) ضبط نسبة الرطوبة فى التربة. ويمكن أيضا أن تقدر هذه الدراسات ما إذا كان الموقع يحتاج إلى « التلقيح» بكائنات دقيقة أخرى قادرة على تحليل المركب، ولكنها غير موجودة بالموقع أو موجودة بمستويات منخفضة جدا. وفى النهاية، فإن التكاليف، والزمن اللازمين للعلاج الحيوى يجب أن يقارنا بالبدائل الأخرى، مثل الحرق، وذلك لتقدير أفضل عملية فى التأثير والتكلفة من أجل تنظيف الموقع. وإذا كان العلاج الحيوى هو البديل المفضل، فحينئذ ينبغى عمل خطة هندسية معتمدة على الدراسات الأولية، وينبغى أيضا تنفيذها ومراقبتها بعناية عن طريق أخذ عينات من التربة، والماء، والهواء من الموقع.

المراجع :

Anonymous, Profitable and Sensible Use of Poultry Manure, Special Circular No. 274, Pennsylvania State University, University Park, PA, 1983.

Council on Environmental Quality, Environmental Trends, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1989.

Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control (DNREC), Guidance and Regulations Governing the Land Treatment of Wastes, Division of Water Resources, DNREC, Dover, DE, 1988.

Felsot, A., Landfarming can clean up contaminated soil, Solutions, February, 16, 1991.

Turner, F. T. and Patrick, W. H., Jr., Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion, Trans. IX Int. Congr. Soil Sci., 4, 53, 1968.

U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service, Agricultural Waste Management Field Handbook, No. 651 of the National Engineering Handbook Series, Consolidated Forms and Publications Distribution Center, U.S. Department of Agriculture, Landover, MD, 1992.

U.S. Environmental Protection Agency, Understanding Bioremediation: A Guidebook for Citizens, EPA/540/2-91/002, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1991.

U.S. Environmental Protection Agency, National Sewage Sludge Rule, 1992.

مراجع مساعدة:

Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G., Wetlands, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.

Overcash, M. R., Humenik, F. J., and Miner, J. R., Introduction to livestock waste management, in CRC Livestock Waste Management, Vol. I, Overcash et al., Eds., CRC Press, Boca Raton, FL., 1983.

الفصل العاشر

الغلاف الجوى : تغير المناخ والترسيب الحامضى

قدمنا وصفًا للغلاف الجوى فى الفصل الثانى، وفى هذا الفصل سوف نناقش ظاهرتين مهمتين فى الغلاف الجوى مرتبطتين بنشاط الإنسان وتطوره وهما: تغير مناخ العالم والترسيب الحامضى، ولكل منهما تأثيرات عديدة وعلاقات متبادلة مع الأراضى.

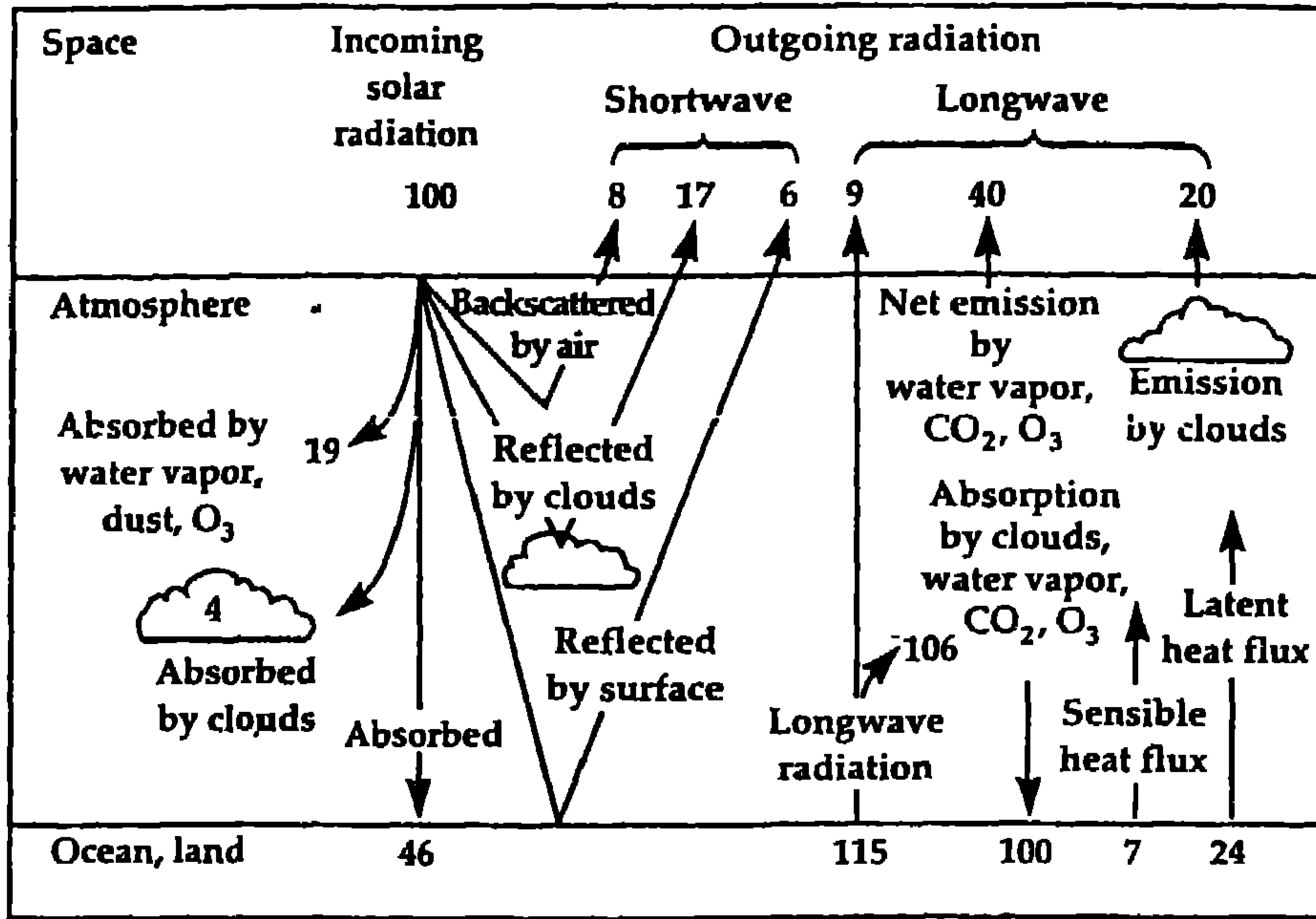
١٠ - ١ تغير المناخ العالمى:

تشير التدفئة العالمية إلى إمكانية ازدياد متوسط درجة حرارة الهواء على مستوى العالم باستمرار بسبب التغير المستمر فى تركيزات الغازات المختلفة فى الغلاف الجوى. وتسبب هذه الغازات **ظاهرة تأثير الصوبة (الدفيئة)**، التى تسمح للغلاف الجوى أن يحبس طاقة مشعة، وهى من ناحية أخرى تشع وتهرب بعيداً عن الأرض، وكما نعرف يسمح تأثير الصوبة بوجود الحياة. وبدون تأثير الصوبة هذا فإن سطح الأرض يمكن أن يكون أبرد مما هو عليه الآن بمقدار ٣٣°م. ولسوء الحظ، فإن التغيرات المناخية يحتمل حدوثها كلما يزداد متوسط درجة حرارة العالم. وهذه التغيرات غير قابلة للتنبؤ بها نسبيًا، هذا إلى جانب أن المعرفة بأن حرارة العالم الآخذة فى التزايد سوف تؤثر فى القوى الدافعة للطقس، وقد تسبب التغيرات فى المناخ اختلافات متزايدة فى درجات الحرارة والأمطار. فقد يزداد الجفاف وتزداد أيضاً الفترات الساخنة وتصبح أمورا مألوفة. وقد يخضع كل من الترسيب السنوى وتوزيع الأمطار للتغير على مدار السنة، مما قد يؤثر بطريقة مثيرة على أماكن إنتاج الغذاء وكيفية إنتاجه.

وهناك مثال بسيط يوضح تأثير الصوبة نجده فى سيارة منتظرة فى الخارج فى يوم مشمس ونوافذها مغلقة ؛ فتمر الأشعة الشمسية خلال الزجاج وتدفئ السطوح الداخلية للسيارة؛ حينئذ تشع هذه السطوح تلك الحرارة فى الهواء فى داخل السيارة، غير أن الزجاج يقوم بمنع الهواء الساخن والإشعاع المنبعث من الهروب، وبذلك ترتفع درجة الحرارة داخل السيارة. وتحدث نفس الظاهرة فى الغلاف الجوى للأرض؛ فتدفئ أشعة الشمس القادمة سطح الأرض، ثم يرتد إشعاع الحرارة إلى الجو. وتعمل غازات الصوبة مثل الزجاج فى مثال السيارة المذكور وتمنع جزءاً من الحرارة من الهروب إلى الجو. وكلما يزداد تركيز غازات الصوبة، كلما تزداد الحرارة المحبوسة. وللأشعة الشمسية القادمة طاقة كافية لكى تمر خلال الغلاف الجوى. وتمتص غازات الصوبة الأشعة تحت الحمراء التى يعاد انبعاثها – والمقاسة فى شكل حرارة – وتصبح الطاقة محبوسة فى الغلاف الجوى. وتسمى الغازات التى تمتص الأشعة تحت الحمراء **بالغازات النشطة إشعاعيا**.

ويمكن إيضاح تأثير الصوبة من **ميزان الطاقة الكونية** الموصوف فى شكل ١٠ – ١. فعندما تدخل ١٠٠ وحدة من أشعة الشمس القادمة إلى الغلاف الجوى ينعكس ٣١ وحدة منها إلى الفضاء. ويمتص سطح الكرة الأرضية (الأرض والمحيطات) ٤٦ وحدة من الوحدات الباقية، وتُستخدم هذه جزئيا فى التسخين المباشر للغلاف الجوى (تدفق الحرارة المحسوسة) وفى تبخير المياه (تدفق الحرارة الكامنة). وهناك ١٠٠ وحدة من الأشعة تحت الحمراء الممتصة بواسطة السحب، وبخار الماء، وثانى أكسيد الكربون، والأوزون فى الغلاف الجوى تنبعث لأسفل إلى سطح الكرة الأرضية، بالإضافة إلى الـ ٤٦ وحدة الممتصة بواسطة سطح الكرة الأرضية مباشرة من الأشعة القادمة من الشمس، وهذا يجعل سطح الكرة الأرضية يسخن بدرجة أعلى من فعل الأشعة القادمة من الشمس بمفردها. وبذلك يسبب تأثير الصوبة الراجع للنشاط البشرى زيادة فى تدفق الأشعة تحت الحمراء لأسفل فى اتجاه سطح الكرة الأرضية.

وبسبب ذلك، فإن الزيادة فى متوسط درجة حرارة العالم أصبحت نتيجة متوقعة. على أن التقدير الفعلى لمتوسط درجة حرارة العالم أمر مثير للخلاف والجدل فى حد ذاته ؛ حيث إن متوسط درجة حرارة العالم عبارة عن المتوسط لمتوسطات درجة

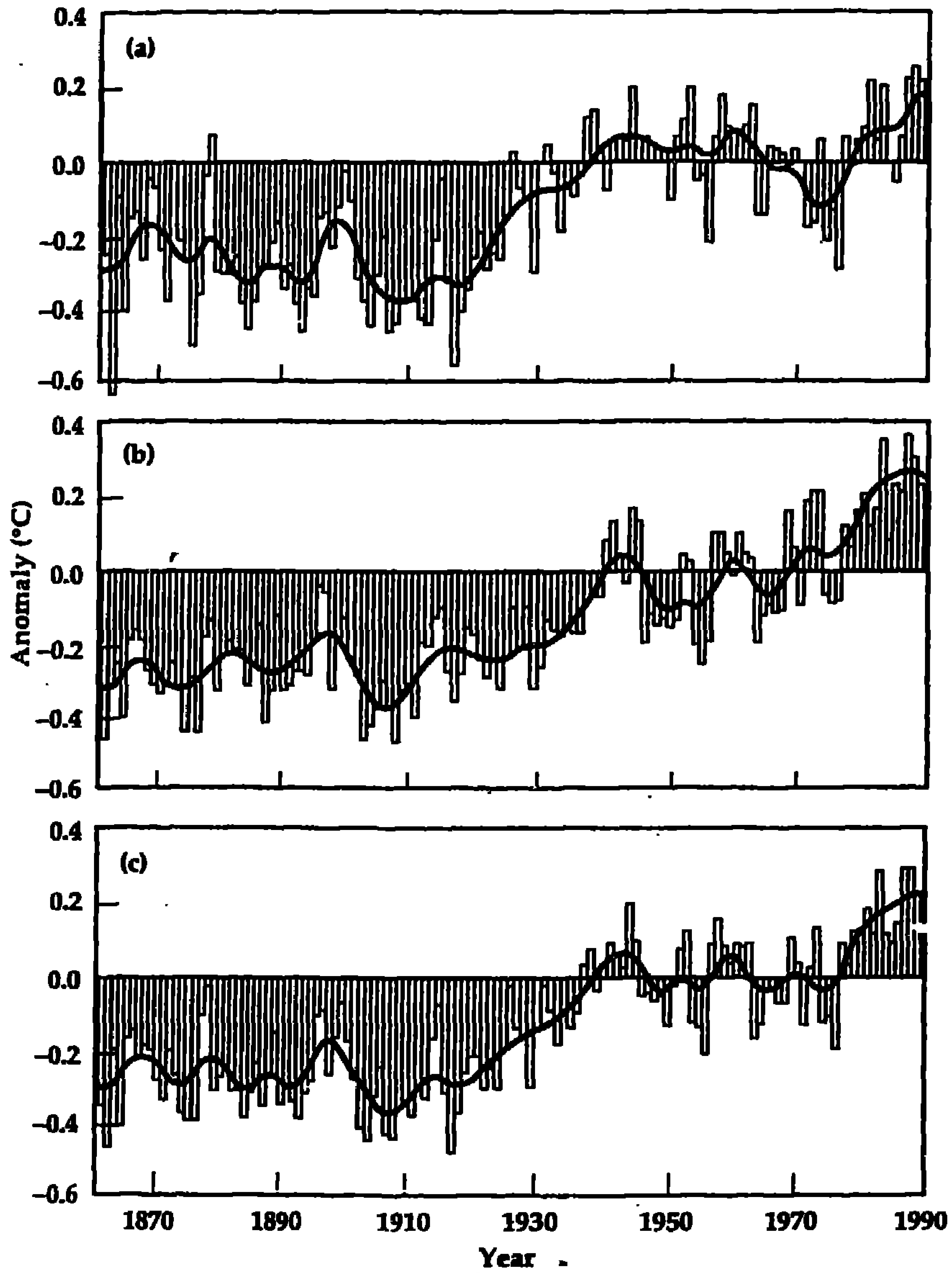


شكل ١٠ – ١ ميزان الطاقة على مستوى العالم بوحدات من المائة من الإشعاع الشمسي الساقط. (MacCracken and Luther , 1985)

الحرارة السنوية لعدد من المواقع المنتشرة على الكرة الأرضية. ومتوسط الحرارة السنوية لموقع معين عبارة عن متوسط درجتى الحرارة العليا والدنيا لكل يوم فى السنة. ولا يتفق الخبراء حول كيفية الحصول على قياس ممثل بدون أن يتأثر بالحرارة المشعة من مناطق العواصم أو بالنقص فى الملاحظات فوق المحيطات التى تغطى معظم سطح الكرة الأرضية. وبالرغم من عدم الاتفاق هذا، فإنه يعتقد بصفة عامة أن متوسط درجة حرارة العالم ازداد بمقدار ٤ر٠ – ٠ر١°م فوق متوسط درجة الحرارة للمائة سنة الأخيرة . ويوضح شكل ١٠ – ٢ اتجاه زيادة درجة الحرارة. ومعروف أن أكثر ست سنوات دفئا حدثت فى الفترة بين ١٩٨٠، ١٩٩٠. ولا تزال الملاحظات عن درجة الحرارة تقع فى داخل حدود التغيرات الطبيعية

المناخ، ويوجد علاوة على ذلك عدم اتفاق حول ماإذا كانت أى اتجاهات العقدين الماضيين سوف تستمر. واستناداً إلى قواعد المنهج العلمى التى نوقشت فى الفصل الأول، فإن المرء لايستطيع مع ذلك أن يستنتج أن تدفئة الكرة الأرضية أصبحت أمراً حقيقياً. ولقد استخدم البعض هذه الحقيقة لتبرير نقص الأفعال التى تهدف إلى تخفيض كميات غازات الصوبة المنبعثة إلى الغلاف الجوى. ومن الصعب أيضا أن نقدر مقدار التغير المحتمل فى مناخنا الراجع إلى التغير ببضع درجات قليلة فقط، ولكى تضع هذا فى منظور محدد وفقاً لأهميته النسبية وعلاقاته الصحيحة، ينبغى أن تضع فى اعتبارك أن درجة حرارة المناخ ازدادت بمقدار خمس درجات فقط منذ العصر الجليدى الماضى.

وتستخدم نماذج محاكاة المناخ على نطاق العالم (GCMs) للتنبؤ بتأثير زيادة تركيزات غازات الصوبة على مكونات المناخ. وفى الحالة النموذجية، تقوم النماذج بمقارنة المناخ بتركيز مضاعف من غاز ثانى أكسيد الكربون الجوى ، وهى حالة يحتمل أن تحدث على الأرجح فى منتصف القرن الحادى والعشرين. ويبين جدول ١٠ - ١ التغيرات فى الترسيب السنوى ودرجة الحرارة السنوية التى أمكن التنبؤ بها بمضاعفة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى فى ثلاث نماذج تحاكي مناخ ثلاث مناطق فى الولايات المتحدة. واتفقت جميع النماذج فى التنبؤ بزيادة قدرها ٤ر٣°م فى متوسط درجة الحرارة . ولم تتفق النماذج فى التنبؤات الخاصة بالترسيب السنوى، حيث كان هناك مدى اختلاف قدره ٤ر١١سم للنماذج الخاصة بمنطقة الهضاب العظمى. وفى ضوء زيادة قدرها ٤ر٣ - ٠ر٥°م فى درجة الحرارة، فإن اختلاف قدره ٤ر١١سم فى الترسيب السنوى يصبح مهما. وتوضح المعلومات أيضا أن تأثير الصوبة الراجع إلى أنشطة الإنسان سوف يختلف تبعا للمنطقة. ويوجد قدر كبير من الشك وعدم الثقة فى مجال نمذجة محاكاة المناخ.



شكل ١٠ - ٢ درجات الحرارة المتحدة من درجات حرارة هواء الأرض ودرجات حرارة سطح البحر للفترة من عام ١٨٦١ - ١٩٨٩ للنصف الشمالى من الكرة الأرضية (a) ، والنصف الجنوبى من الكرة الأرضية (b)، ومتوسط درجة حرارة العالم (c). وحدات المحور الصادى عبارة عن الاختلاف (الفرق) عن المتوسط للمدة ١٩٥١ - ١٩٨٠.

(Wuebbles and Edwards , 1991.)

ومن المعروف أن تركيزات أهم خمسة غازات ضمن غازات الصوبة - والتي تعزى إلى أنشطة الإنسان - قد ازدادت بدرجة كبيرة منذ عصور قبل الصناعة؛ وهذه الغازات الخمسة هي : ثاني أكسيد الكربون ، والميثان ، وأكسيد النتروز N_2O، والكلوروفلوروكربون CFCs، والأوزون ، وهذه التركيزات مدونة في جدول ١٠ - ٢ جنبا إلى جنب مع بعض المعلومات العامة عن كل غاز. ولقد تم التعبير عن فعالية كل غاز بقوته الإشعاعية بالنسبة لثاني أكسيد الكربون.

جدول ١٠ - ١ التغيرات التي تم التنبؤيها في درجات الحرارة السنوية والترسيب السنوي في ثلاث مناطق أمريكية بواسطة ثلاث نماذج محاكاة للمناخ تفترض مضاعفة تركيزات ثاني أكسيد الكربون الجوي.

	نموذج A	B	C
التغير المحتمل في درجة الحرارة السنوية (٥م):			
البحيرات الكبيرة	٥ر٤	٢ر٦	٤ر٣
الهضاب الكبيرة	٥ر٤	٠ر٥	٤ر٣
الجنوبية الشرقية	٦ر٤	٦ر٤	٥ر٣
التغير المحتمل في الترسيب السنوي (سم):			
البحيرات الكبيرة	١ر٤	٦ر١	٧ر٣
الهضاب الكبيرة	- ١ر٩	٣ر٢	٨ر١
الجنوبية الشرقية	١ر٩	-٠ر٣	٢ر٢

(White, 1990.)

جدول ١٠ – ٢ صفات غازات الصوبة الخمسة الرئيسية :

	ثانى أكسيد الكربون CO_2	الميثان CH_4	أكسيد النتروز N_2O	كلوروفلوركربون CFC_s	أوزون التروبوسفير O_3
مصادر طبيعية	انطلاق من الأراضى والمحيطات.	الأراضى الرطبة ، التخمر المعوى(حيوانات غير مجترة).	انطلاق من الأراضى والمحيطات.	لا يوجد	انتقال الأوزون من ستراتوسفير ، إنتاج كيميائى ضوئى فى التروبوسفير.
مصادر تعزى للنشاط البشرى	استخدام الوقود الحجرى ، تغيير استخدام الأراضى ، صناعة الأسمنت	زراعات الأرز، التخمر المعوى(حيوانات مجترة)، حرق الكتلة الحيوية، فقد الغاز الطبيعى.	الأرضى المسمدة ، استخدام الوقود الحجرى، حرق الكتلة الحيوية.	مواد التبريد "الفريون" ، الرغاوى ، الإيروسولات	التفاعل من N_2O ، CH_4 ، هيدروكربونات
التركيز الحالى فى الجو (جزء فى البليون بالحجم)	٣٥٣٠٠٠	١٧٢٠	٣١٠	CFC – ١١ : ٠,٢٨ CFC – ١٢ : ٠,٤٨ غيرها*:٠,٠٠٥–٠,١٢	٢٠ – ١٠٠
التركيز فى الجو فى عصر قبل الصناعة (جزء فى المليون).	٢٨٠٠٠٠	٧٩٠	٢٨٠ – ٢٩٠	صفر	١٠
العمر فى الجو..	٥٠ – ٢٠٠ سنة	١٠ سنة	١٢٠ – ١٥٠ سنة	C – ١١: ٦٥ سنة C – ١٢: ١٢٠ سنة غيرها: صفر ٤٠٠سنة	
القوة الإشعاعية بالنسبة لتركيز مساوٍ من CO_2 (على أساس الحجم).	١	٥٨	٢٠٦	C – ١١: ٣٩٧٠ C – ١٢: ٥٧٥٠ غيرها: ٣٧١٠ – ٥٤٤٠	** —
المساهمة النسبية المقدرة فى تأثير الصوبة الراجع للإنسان.	٪٦٠	٪١٥	٪٥	٪١٢	٪٨

.(Wuebbles and Edwards, 1991 and Earthquest, 1990)

* CFC – ١١٣، CFC – ١١٥، HCFC – ٢٢. ** دالة للارتفاع.

ومجمل القول، أن قوة الإشعاع تمثل سبعة جزئ واحد من غاز الصوبة لامتصاص الأشعة تحت الحمراء مقارنة بجزئ واحد من ثانى أكسيد الكربون. وتمتص غازات الميثان ، وأكسيد النتروز ، والكلوروفلوروكربون ، والأوزون الأشعة تحت الحمراء بكفاءة أكثر من ثانى أكسيد الكربون ، وهذا هو السبب فى مساهمة هذه الغازات الأربعة بنسب معنوية فى تأثير الصوبة الراجع إلى النشاط البشرى بالرغم من وجودها بتركيزات منخفضة نسبيًا فى الغلاف الجوى.

ويوجد غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو فى أعلى تركيز، وبمعامل لايقل عن ٢٠٠، مقارنة بغازات الصوبة الأخرى، ولذلك فله أعلى مساهمة نسبية فى تأثير الصوبة الراجع للإنسان ؛ فهو يساهم بحوالى ٦٠٪ تقريبا من تأثير الصوبة. وهو أقل غازات الصوبة فعالية، ومع ذلك، فإن مساهمته فى تدفئة الكرة الأرضية أساسية، وذلك راجع لكمياته الكبيرة الموجودة. وتعتبر مصادر ثانى أكسيد الكربون الرئيسية هى احتراق الوقود الحجرى وإزالة الغابات. ويساهم غاز الميثان بحوالى ١٥٪ من تأثير الصوبة، وهو ينتج من التمثيل اللاهوائى للمركبات الكربونية. وتوجد مثل هذه الظروف اللاهوائية فى الأراضى المغمورة وفى معدة الحيوانات المجترة. ويساهم غاز أكسيد النتروز بحوالى ٥٪ من تأثير الصوبة ؛ وهو ينشأ كنتيجة لاستخدام الأسمدة النتروجينية، والاستخدام غير المناسب للتربة، واحتراق الوقود الحجرى. ومركبات الكلور فلوروكربون عبارة عن مجموعة من الغازات تساهم بحوالى ١٢٪ من تأثير الصوبة. وتعدُّ هذه المجموعة أكثر غازات الصوبة فعالية، وتوجد فى الغلاف الجوى بتركيزات أقل من واحد جزء فى البليون pbb؛ وتعتبر أقل جميع غازات الصوبة تركيزا فى الغلاف الجوى. كما تحتل المركز الثالث من ناحية كبر مساهمتها فى التأثير. وأخيراً، هناك اعتقاد بأن الأوزون فى طبقة التروبوسفير هو المسئول عن ٨٪ من تأثير الصوبة الراجع للإنسان، وينتج الأوزون خلال عدد من العمليات المرتبطة بالبيئات الحضرية، وهو ملوث للجزء السفلى من الغلاف الجوى. ويعتبر بخار الماء أيضا غاز نشط وغاية فى الأهمية من ناحية قوته الإشعاعية بالرغم من عدم تغير تركيزات بخار الماء فى الجو بصفة عامة كنتيجة مباشرة لنشاط الإنسان. ومع ذلك، فسوف يشجع

المناخ الأدفأ تبخير كميات أكبر على مستوى العالم؛ ويساهم بخار الماء الإضافى هذا على الأرجح فى تدفئة إضافية.

ويمكن للأراضى أن تكون مصدراً أوبالوعة لغازات ثانى أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النتروز؛ وسوف نناقش هذه الغازات فى هذا الفصل. ولا تلعب الأراضى دوراً فى تدوير الأوزون أو مركبات الكلوروفلوروكربون، ولذلك فستكون التعليقات على هذه الغازات مختصرة. وتستخدم غازات الكلوروفلوروكربون بصفة أساسية كمبردات وفى الإيروسولات - وهى تمتاز عن غيرها فى أنها عبارة عن فئة من المركبات يمكن منع دخولها إلى الغلاف الجوى (أى الاستغناء عنها) بشرط تطوير بدائل أقل ضررا. وهذه نقطة مهمة طالما أن غازات الكلوروفلوروكربون أشد غازات الصوبة تأثيرا وفعالية، وقد تم التوصل أيضًا إلى أنها تشارك فى هدم وإبادة الأوزون فى الغلاف الجوى العلوى، وحيث إن الأوزون ملوث للغلاف الجوى السفلى، فالجهود بالفعل جارية لكى تخفض مدخلات الأوزون للغلاف الجوى، وسيكون لها تأثيرات مفيدة فى تخفيض تدفئة الكرة الأرضية.

١٠ - ١ - ١ ثانى أكسيد الكربون :

يمكن معرفة سبب تزايد تركيزات ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى عن طريق فحص دورة الكربون العالمية (شكل ١٠ - ٣). وفى فترة ماقبل الانفجار السكانى على الكرة الأرضية، كانت تركيزات ثانى أكسيد الكربون ثابتة بصفة أساسية، وكانت جميع الكتلة الحيوية على الأرض بصفة أساسية عند حالة الذروة بالنسبة للكساء النباتى، وكان ثانى أكسيد الكربون المنطلق عن طريق تحلل المادة النباتية الميتة متوازنًا مع ثانى أكسيد الكربون الممتص بالنباتات النامية. وكانت جميع مساهمات الكربون الأخرى ثابتة نسبيًا. وكان تأثير الإنسان منصبًا بالضرورة على أخذ الكربون المخزن فى الوقود الحجرى المكتشف وفى الغابات ووضعه فى الجو - بعد أن يتم تحويله إلى ثانى أكسيد الكربون - بمعدل أسرع من إزالته بالنباتات النامية أو بالامتصاص فى المحيطات. ويوضح شكل ١٠ - ٤ تركيزات ثانى أكسيد الكربون

الجوى، مقدرة فى عينات مأخوذة من الهواء (منذ عام ١٩٥٠ تقريبا) وفى عينات أخرى مأخوذة من الهواء المحبوس فى قلب الجليد (قبل عام ١٩٥٠) لفترة ٢٥٠ سنة الأخيرة.

ويوضح حاصل جمع معدلات تحول الكربون فى شكل ١٠ - ٣ أن صافى تحول الكربون فى الغـلاف الجـوى هو ٣ - ٥ جيجـاطن (GT) فى السنة (جيجـاطن = $١٠^{٩}$ طن مترى). ويتم تعويض كمية ٦ - ٨ جيجاطن/ سنة التى تدخل الغلاف الجوى من احتراق الوقود الحجرى وإزالـة الغـابات جزئيا بواسـطة صافى تحول الكربون فى المحيطات وقدره ٣ جيجاطن/ سنة. ويتـحكم الإنسان جزئيا فى ثلاث عمليات فى دورة الكربون، وهى: إزالة الغابات، واحتراق الوقود الحجرى، وبدرجة أقل فى كمية الكربون الممتص بواسطة النباتات النامية، ويتم تخزين الكربون المستخدم لنمو النبات فى أجزاء النبات التى فوق سطح الأرض أو التى فى باطن الأرض أثناء حياة النبات. ويبقى بعض الكربون فى التربة فى هيئة مادة عضوية بعد أن يموت النبات ويتحلل.

ويُعدُّ دور الأراضى فى تدوير الكربون على نطاق الكرة الأرضية مختلفاً تماما. أولاً، تحتوى الأراضى وفتات الصخور ١٢٠٠ جيجاطن كربون، وهو يمثل أحد المستودعات الأكبر للكربون فى دورته العـالمية. وتقوم النباتات بتثبيت ثانى أكسيد الكربون الجوى أثناء نموها. وتقوم الكائنات الدقيقـة فى التربة بتحليل النباتات الميتة، وتعيد جزءاً من الكربون إلى الغلاف الجوى فى هيئة ثانى أكسـيد كربون، وتحفظ جزءاً من الكربون فى هيئة مادة عضوية فى التربة. ومن الواضح، فإن أهمية الأراضى فى تخزين الكربون لا يجب التغاضى عنها. وفى الحقيـقة، فعندما يتم تحويل أراضى منطقة نباتات طبيعية لتسـتخدم للإنتاج الزراعى، فإنها سوف تخسر بدرجة نموذجية ٢٥ - ٥٠٪ من مادتها العضـوية، مالم يتم إدارتها كما ينبغى. وعندما يحدث تعرية للتربة، يصاحبه أيضا فقد للكربون فى المادة المزالة. وقد تمّ اقتراح زيادة محتوى التربة من المادة العضوية كوسيلة لإيقاف ارتفاع مسـتويات ثانى أكسيد الكربون الجـوى. وهذا يمكن تنفيذه عن طريق إدارة مخلفات الحيوانات (إعادة جميع المخلفات الحيوانية للأراضى)، وتقـليل كثـافة الحرث (يحافظ على

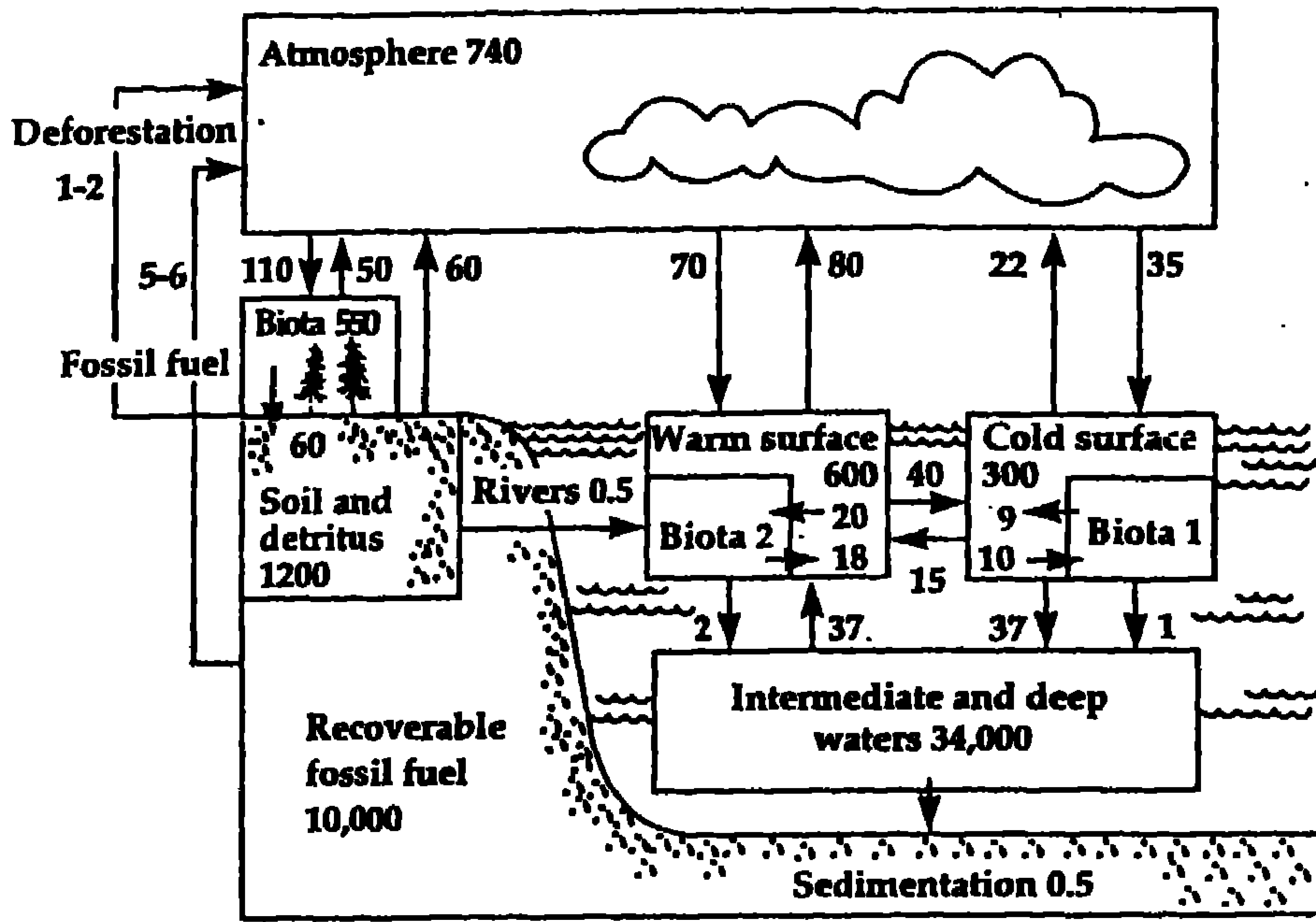


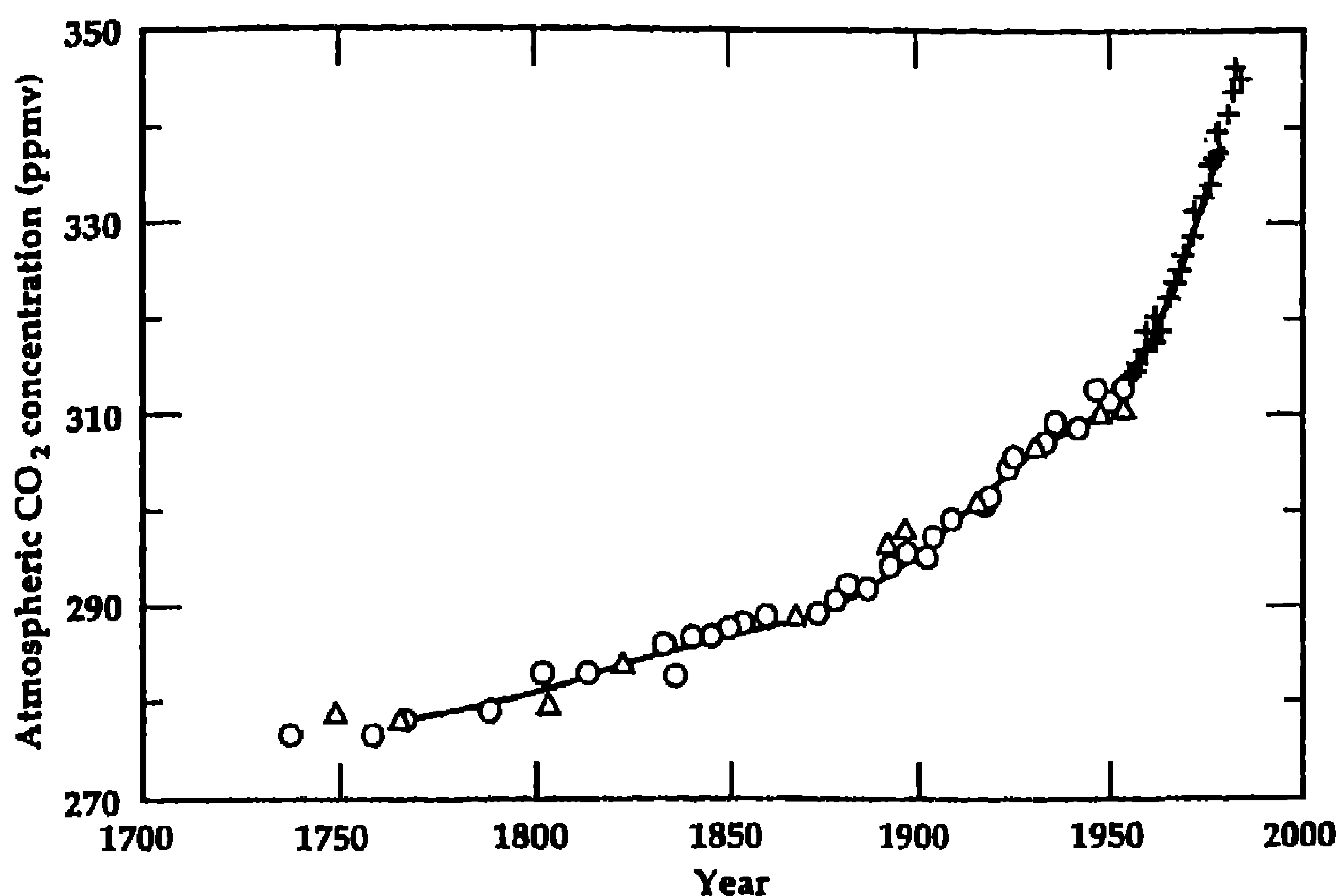
Figure 10-3 The global C cycle (in Gt/year). (From Moore, 1988.)

شكل ١٠ – ٣ دورة الكربون العالمية (جيجا طن / سنة).

(Moore , 1988.)

المادة العضوية فى التربة)، والتقليل إلى أدنى درجة عملية حرث الأرض وتركها للراحة بدون زراعة، وزراعة حشائش أكثر ونباتات بقولية عميقة الجذور، وتعظيم إعادة بقايا المحاصيل إلى الأراضى. وتساعد جميع هذه الممارسات فى تقليل تعرية التربة بالإضافة إلى زيادة كمية الكربون العائد إلى التربة. ولقد تم تقدير أن ٦٣ مليون طن مترى من الكربون لكل سنة يمكن أن تخزن فى الأراضى الزراعية فقط بالولايات المتحدة، وهى حوالى ٥ ر١٪ من صافى تحول الكربون فى الغلاف الجوى.

واستهلاك الطاقة بواسطة الزراعة هو مجال آخر مهم بالنسبة لمساهمات ثانى أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوى، ويتطلب إنتاج الغذاء مدخلات الطاقة المباشرة من مصادر الوقود المختلفة المستخدمة فى ميكنة وتجفيف المحاصيل، وكذلك مدخلات



شكل ١٠ - ٤ تركيزات ثانى أكسيد الكربون الجوى من أزمنة ماقبل الصناعة إلى الوقت الحالى، كما قدرت فى عينات مأخوذة من الهواء المحبوس فى قلب الجليد (قبل عام ١٩٥٠) لفترة ٢٥٠ سنة الأخيرة، وفى عينات مأخوذة من الهواء الفعلى (منذ عام ١٩٥٠ تقريبا).
(Lashof and Tirpak, 1989.)

الطاقة المستخدمة بطريقة غير مباشرة من صناعة المبيدات والأسمدة وتوليد الكهرباء. ويوضح جدول ١٠ - ٣ انبعاثات الكربون المقدرة من استهلاك الطاقة فى الزراعة بالولايات المتحدة. وتنتج صناعة السماد أغلبية انبعاثات الكربون، وتمثل ٣٠٪ من الإجمالى. ويعكس الانخفاض فى انبعاثات الكربون من ١٩٧٤ إلى ١٩٨٤ التحول من استعمال الجازولين إلى معدات احتراق وقود ديزل أكثر كفاءة. وتقدر انبعاثات الكربون الكلية من الزراعة بالولايات المتحدة بأقل من ١٪ من صافى تحول الكربون فى الغلاف الجوى. وبينما يبدو هذا على أنه غير معنوى من وجهة النظر العالمية، فإن أهميته تصبح واضحة إذا اعتبر المرء أن الاتجاه على مستوى العالم أن تكون الزراعة مكثفة للطاقة مثل الزراعة فى الولايات المتحدة. وعلى سبيل المثال، ازداد استخدام

جدول ١٠ - ٣ الانبعاثات المقدرة للكربون من استهلاك الطاقة بواسطة الزراعة في الولايات المتحدة في عام ١٩٧٤ وعام ١٩٨٧.

	ابنعاثات الكربون (مليون طن)	
مصدر الطاقة:	١٩٧٤	١٩٨٧
طاقة مباشرة:		
جازولين	١٠ر٣	٤ر٢
ديزل	٨ر٠	٨ر٩
غاز LP	٢ر٠	٠ر٩
غاز طبيعي	٢ر٢	٠ر٩
طاقة استثمارية:		
كهرباء	٥ر٥	٦ر١
سماد	٩ر٥	٩ر٩
مبيدات	١ر٨	٢ر٤
المجموع	٣٩ر٣	٣٣ر٢

(Bird and Strange, 1992.)

السماد بدرجة كبيرة في آسيا وفي الاتحاد السوفيتي السابق خلال الـ ٢٥ سنة الماضية. ومن هذا المنظور، تعتبر الجهود لتخفيض استخدام الطاقة في إنتاج الغذاء اقتصادية.

وعمومًا، تتجه إستراتيجيات التعامل مع زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي نحو مسارات تخفيض مدخلات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف

الجوى أو زيادة كمية الكربون المخزن فى مستودعات الكربون المختلفة ، ويشمل الاتجاه الأول الجهود التى تستطيع أن تخفض انبعاثات الكربون بطريقة مباشرة مثل:

(١) زيادة كفاءة الوقود.

(٢) زيادة استخدام مصادر الطاقة التى تعتمد على وقود غير حجرى (مثل: الرياح، الطاقة الشمسية، الطاقة النووية).

(٣) منع انجراف التربة.

(٤) إبطاء إزالة الغابات.

ويشمل الاتجاه الثانى الجهود التى لها القدرة على زيادة كمية الكربون المخزن مثل:

(١) إعادة التخضير أو إعادة الزراعة (لمناطق الغابات، أراضى الحشائش).

(٢) زيادة مستويات الكربون فى التربة.

(٣) تشجيع إعادة الاستخدام المفيد لمواد المخلفات العضوية (الأسمدة العضوية، الحمأة، ... إلخ).

ولعل القارئ يتذكر القدر الهائل لكميات الكربون التى تحتاج التعامل معها. وسوف تتطلب التغيرات الكبيرة فى حجم أى مستودع (مصدر) كربون درجة عالية من التعاون على نطاق العالم. وستكون أقصى نتيجة مرجوة هى النقص فى معدل زيادة مستويات ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى. وتعكس هذه الأفعال التغيرات التى يجب أن تعمل بصرف النظر عن مشكلة التدفئة العالمية ؛ فعلى سبيل المثال، هناك عدد من المبررات لوجوب منع تعرية التربة أو وجوب تحسين كفاءة الوقود. وإذا كانت تدفئة العالم تحدث بدرجة أقل خطورة عماهى عليه الآن، فإن الموارد المصروفة على تلك الأفعال لم تنفق هباءً.

ولقد نوقشت باختصار الصعوبات فى التنبؤ بتأثير تدفئة العالم على المناخ، ومما يزيد تعقيدات الحالة هى الاستجابة المحتملة للنباتات نفسها لتركيزات ثانى أكسيد الكربون المتزايدة، بدون اعتبار تأثير تغير المناخ على الإنتاج النباتى.

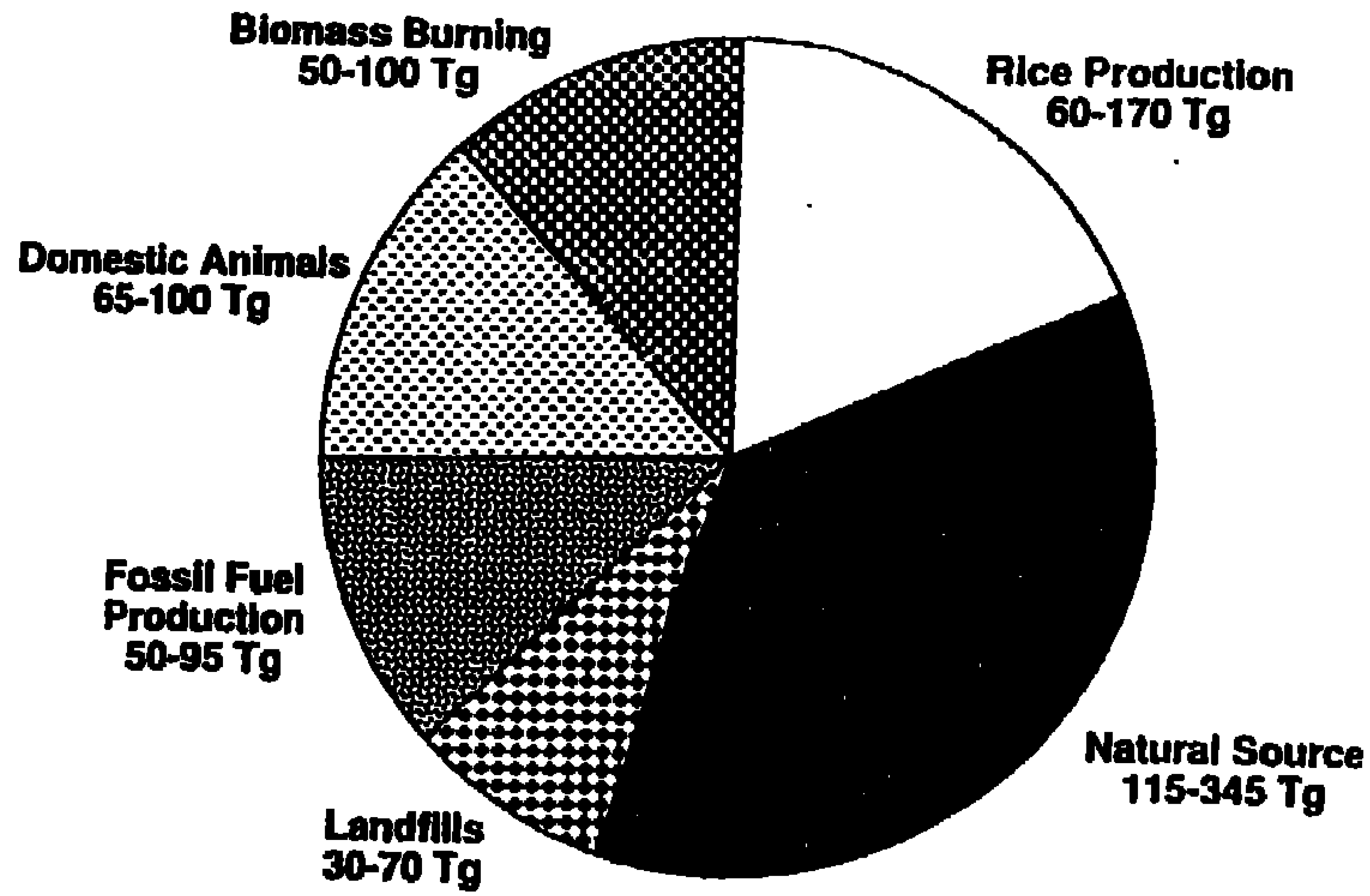
وتقع معظم النباتات فى إحدى فئتين عامتين اعتماداً على الاختلافات فى طريقتها البيوكيميائية لتثبيت ثانى أكسيد الكربون الجوى؛ فنباتات الفئة الثالثة C_3(مثل: القمح، فول الصويا، القطن) تأخذ ثانى أكسيد الكربون من الهواء فى داخل خلايا الميزوفيل؛ حيث تقوم دورة كالفن بتحويله إلى سكروز؛ ونباتات الفئة الرابعةC_4 (مثل: الذرة، الذرة السكرية، الدخن) أيضا تأخذ ثانى أكسيد الكربون من الهواء فى داخل خلايا الميزوفيل، ولكن ثانى أكسيد الكربون المثبت (فى هيئة جزئ) ينتقل إلى خلايا غِمْد الحزمة ؛ حيث تحدث دورة كالفن، وهذا «الضخ» "Pumping" لثانى أكسيد الكربون من خلايا الميزوفيل إلى داخل خلايا غِمْد الحزمة يحفظ تدرج أكبر لتركيز ثانى أكسيد الكربون بين الهواء الجوى وخلايا الميزوفيل، وهذا يزيد قدرة نباتات الفئة الرابعة C_4 لتمثيل ثانى أكسيد الكربون. وبناء على ذلك، تعد نباتات الفئة الرابعة C_4مستخدمات أكثر كفاءة لثانى أكسيد الكربون.

أما نباتات الفئة C_3 – والتى تعد مستهلكات أقل كفاءة لثانى أكسيد الكربون – سوف تزيد بالفعل معدلاتها فى البناء الضوئى استجابة(لتركيزات ثانى أكسيد الكربون المتزايدة، بشرط(أن لا تكون عوامل النمو الأخرى محددة. وعلى ذاك، فالمرء يمكنه أن يتنبأ بزيادة النمو لنباتدت C_3 كلما ازدادت مستويات ثانى أكسيد الكربوه> وسوف تستجيب أيضا النباتات C_4 بطريقة إيجابيى لتركيزات ثانى أكسيد الكربون المتزايدة، بالرغم أنها لا تصل إلى الدرجة التى تستجيب لها نباتات C_3. وتميل كل من نباتات C_3، C_4 إلى استخدام الماء بكفاءة أكثر عندما تكون مستويات ثانى أكسيد الكربون أعلى. وهذا بسبب أن الثغور (الفتحات فى الأوراق التى تعتبر وسيلة تبادل الغاز والماء بين النباتات والهواء الجوى) لا تفتح كثيرا فى البيئة الغنية بثانى أكسيد الكربون مقارنة بالظروف العادية، كما يُفقد ماء أقل خلال عملية البناء الضوئى. ويحدث هذا التأثير بدرجة أكبر مع نباتات C_4. أما فى حالة نباتات C_3 فتوجد أيضا زيادة فى نمو النبات بدون زيادة فى استخدام الماء. كما أن كلا من نباتات C_3، C_4 يمكنها أن تكون أكثر كفاءة فى استخدامها للعناصر الغذائية، وبصفة خاصة النتروجين، مما يعدُّ استجابة إيجابية.

ولسوء الحظ، يعتبر الماء والعناصر الغذائية بالفعل هى العوامل الرئيسية المحددة لنمو النبات على معظم اليابسة، وهذا على الأرجح سوف يظل على هذا الحال كما تغير المناخ. وبكل وضوح، لو كانت الزيادات فى الإنتاج النباتى على المستوى الكبير ممكنة بسبب الزيادة فى مستويات ثانى أكسيد الكربون الجوى، يلزم عن ذلك إذن عدم ارتفاع تركيزات ثانى أكسيد الكربون الجوى مثلما هى عليه اليوم. وبالرغم من ذلك، فزيادة إنتاج الكتلة الحية تقلل على الأرجح قيمة الزيادة فى تركيزات ثانى أكسيد الكربون الجوى. وقد يصبح الماء أكثر من عامل محدد فى ضوء زيادة درجة الحرارة.

١٠ - ١ - ٢ الميثان:

ينتج الميثان بواسطة بكتريا الميثان فى أى وقت تتحلل فيه المادة العضوية لا هوائيا. وتوجد هذه الظروف من الناحية النموذجية فى الأراضى الغدقة (المغمورة)؛ وفى الجهاز الهضمى للحيوانات المجترة؛ وفى الحالات التى تخزن فيها المخلفات العضوية أو يتم تداولها فى صورة سائلة، كما هو الحال غالبا بالنسبة للأسمدة الحيوانية وحمأة المجارى. وقد قام الإنسان بزيادة تركيزات الميثان فى الهواء الجوى عن طريق زيادة كمية الكربون التى يتم تمثيلها لاهوائيا. والميثان مشابه لثانى أكسيد الكربون ؛ حيث كانت تركيزات الميثان الجوى ثابتة نسبيا قبل الزيادة الهائلة فى عدد سكان الكرة الأرضية ، وكانت الأراضى الرطبة والحيوانات المجترة الأصلية هى المصادر الرئيسية للميثان فى ذلك الوقت. أما اليوم فتوجد مصادر أخرى تضيف الميثان إلى الهواء الجوى مثل: مزارع الأرز، والحيوانات المجترة الأليفة، ومدافن المخلفات العضوية، واستخدامنا الشخصى للميثان كوقود. ويوضح شكل ١٠ - ٥ تحليل الانبعاثات السنوية العالمية الحالية للميثان على أساس مصدرها. ومن بين جميع غازات الصوبة، تعد انبعاثات الميثان هى الأعظم ارتباطا وثيقا بإنتاج الغذاء على أساس عالمى. ولقد قُدّر أن ٤٠٪ من انبعاثات الميثان العالمية مصدرها مزارع الأرز ومن عمليات الهضم للحيوانات الأليفة فقط وتداول مخلفاتها.



شكل ١٠ – ٥ المصادر الحالية لانبعاثات الميثان العالمية.
(Burke and Lashof, 1990.)

الميثان غاز صوبة أكثر فعالية عن ثانى أكسيد الكربون. ويبلغ تركيزه فى الهواء الجوى حوالى ١٧٠٠ جزء فى البليون، وهو يساهم بمقدار ١٥٪ فى تأثير الصوبة الراجع لنشاط الإنسان. والشئ الفريد للميثان هو قصر دورة حياته فى الهواء الجوى والتى تبلغ ١٠ سنوات مقارنة بثانى أكسيد الكربون، وأكسيد النتروز، ومركبات الكلوروفلوروكربون (جدول ١٠ – ٢). ويعتبر مصير الميثان الجوى غير مفهوم تماماً. ومن المعروف أن بكتريا التربة المسئولة عن التأزت يمكنها أن تؤكسد الميثان وكذلك الأمونيوم. ولذلك، فالأراضى جيدة التهوية المنخفضة فى النتروجين يمكن أن تكون بالوعة للميثان. ومع ذلك يتبدّد معظم الميثان عن طريق التفاعل مع مجموعات الهيدروكسيل الموجودة فى التروبوسفير. وتقترح أيضًا قصر فترة حياة الميثان أن الجهود التى تبذل لتخفيض انبعاثات الميثان يمكن أن تكون مؤثرة فى إبطاء الزيادة فى معدل الدفء العالمى.

ومن الصعب تنفيذ الجهود التى تخفض مباشرة انبعاثات الميثان الناتجة من إنتاج الغذاء بسبب زيادة تعداد السكان والطلب على الغذاء فى مناطق من العالم؛ حيث يُعدّ الأرز هو المصدر الرئيسى للغذاء. وبالإضافة إلى ذلك، فإن غذاء قطاعات كبيرة من سكان العالم منخفض الجودة، ومع مرور الزمن حدث تحسن فى الغذاء عن طريق زيادة نسبة اللحوم فى الغذاء. وهذا يتطلب بالتالى زيادة أعداد الحيوانات الأليفة فى بعض المناطق من العالم. وقد تصبح الأبحاث قادرة على تخفيض كمية الميثان الناتج لكل وحدة أرز ناتجة. ويمكن إنجاز ذلك بواسطة تربية الأرز بنسبة «حبوب: قش» أعلى، وهى نسبة تؤدى إلى إنتاج كمية قش أقل صالحة للتحلل اللاهوائى؛ أو بواسطة زيادة نسبة سلالات الأرز النجدى (التى تنمو فى أراضٍ غير مغمورة). وقد تُخفض استراتيجيات أخرى خاصة باستخدام المياه من انبعاثات الميثان من حقول إنتاج الأرز. وقد تُخفض أيضا الأبحاث انبعاثات الميثان من الحيوانات الأليفة وبصفة خاصة المجترات. ويعكس الميثان المنبعث من هذه الحيوانات الفقد فى طاقة التغذية وهو عبارة عن عدم فعالية أو عدم كفاءة. على أن الجهود التى تبذل لزيادة كفاءة تغذية الحيوان أو لكى تزيد معدل زيادة وزنه سوف تُخفض كمية الميثان المنبعث.

وسوف تحتاج الجهود المباشرة لتخفيض انبعاثات الميثان إلى تركيز الضوء على نظم توزيع الغاز الطبيعى، وطرق إنتاج الوقود الحجرى، ومدافن المخلفات العضوية، والطرق المختلفة لتداول المخلفات. ولقد قُدّر أن بعض نظم توزيع الغاز الطبيعى تفقد أكثر من ٣٪ من الغاز من خلال التسرب. كما تطلق أيضاً عمليات استكشاف البترول وتعدين الفحم كميات كبيرة من الميثان، تماما كما تفعل مدافن المخلفات وبعض نظم تداول المخلفات العضوية. وفى أى من هذه الأمثلة، يوجد فقْد للميثان يمكن منعه، كما توجد طرق لأسره أو الاحتفاظ به، وهذه الطرق سوف تكون مفيدة لمشكلة المناخ العالمى.

١٠ - ١ - ٣ أكسيد النتروز:

ينتج أكسيد النتروز فى الأراضى من خلال عمليات بيولوجية وأخرى غير بيولوجية، وتنتج جميع المسارات الميكروبية أكسيد النتروز (N_2O) بما فى ذلك عمليتى التأزت وعكس التأزت. وينطلق أكسيد النتروز من جميع الأراضى، بصرف النظر عن الحرث أو التسميد، بالرغم أن التسميد النتروجينى يزيد انبعاثات أكسيد النتروز بسبب الزيادة فى كمية المادة الصالحة لعمليتى التأزت وعكس التأزت. ويمكن تحفيز انبعاثات أكسيد النتروز من الأراضى بواسطة تغيير استخدام التربة، وبصفة خاصة تحويل الأراضى من أى زراعة أصلية إلى إنتاج زراعى. وكما نوقش سابقا، تنخفض مستويات المادة العضوية فى التربة عندما تحرث الأراضى قبل الزراعة. ويفقد بعض نتروجين المادة العضوية فى صورة أكسيد نتروز. وينتج أيضا أكسيد النتروز عندما تتأكسد مركبات النتروجين المختزلة فى الوقود الحجرى أو مواد الكتلة الحيوية الأخرى خلال الاحتراق. وكنتيجة للزيادات فى الأنشطة المذكورة عاليه، فإن تركيز أكسيد النتروز فى الجو قد ازداد مقارنة بأزمنة ما قبل الصناعة.

ويعتبر أكسيد النتروز غاز صوبة أكثر فعالية من ثانى أكسيد الكربون أو الميثان، بالرغم من مشاركته فقط بمقدار ٥٪ فى تأثير الصوبة الراجع للإنسان. وإن وسائل تخفيض انبعاثات ثانى أكسيد الكربون – مثل تقليل استخدام الوقود الحجرى والمحافظة على المادة العضوية فى التربة (وقد نوقشت بالفعل سابقا) – سوف تقلل أيضا انبعاثات أكسيد النتروز؛ حيث أن النتروجين مكوِّن تكاملى للوقود الحجرى، والكتلة الحيوية، والكربون العضوى فى التربة.

وينبغى أن تركز الجهود المباشرة من أجل تخفيض انبعاثات أكسيد النتروز على استخدام السماد النتروجينى. ويعدُّ انبعاث أكسيد النتروز الناتج من السماد عملية معقدة يمكن أن تتأثر بعوامل مثل: نوع السماد، ومعدل النتروجين، وطريقة الإضافة، والحرث، ورطوبة التربة، ودرجة الحرارة، ومحتوى التربة فى الكربون العضوى، والنشاط الميكروبى. وعموماً، فإن تخفيض انبعاثات أكسيد النتروز الناتج من السماد سوف يتطلب الزيادة فى كفاءة استخدام النتروجين، وهذا سوف يحدث إلى درجة ما مع مستويات ثانى أكسيد الكربون الجوى المرتفعة.

ولقد نوقشت فى الفصل الرابع طرق زيادة كفاءة استخدام النتروجين وحاليا، تقدر انبعاثات أكسيد النتروز الناتج من السماد بحوالى ٥ ر٢٪ من انبعاثات أكسيد النتروز العالمية، بافتراض أن حوالى ١٪ تقريبا من النتروجين السمادى يفقد فى صورة أكسيد نتروز. ومن المتوقع أن تزداد انبعاثات أكسيد النتروز الناتج من السماد على مستوى العالم حيث أن استخدام السماد النتروجينى يزداد باستمرار، وبصفة خاصة فى الأقطار التى تتميز بكثافة سكانية عالية وزيادة الطلب على الغذاء.

١٠ - ١ - ٤ شكوك وتعقيدات:

وفيما يتعلق بالموضوع العام لتغير المناخ فإن مانجهله يفوق بكثير مانعلمه. إبتداء بالمناخ نفسه، من المقبول والمتفق عليه بصفة عامة أن المناخ سوف يتغير بالرغم أن طبيعة التغيرات غير قابلة للتنبؤ بها بدرجة كبيرة. ولعلّ أحد أسباب الشك هو العدد الكبير من آليات التغذية الاسترجاعية للمعلومات. وذلك يعنى أن التغير فى آلية واحدة سوف يُعَجل حدوث تغيرات إضافية فى الآليات الأخرى لدرجة أن محصلة التأثير للتغير الأول يصبح صعبا فى التنبؤ به. ولقد ذكر سابقًا مثال بسيط لذلك؛ فنحن نعرف عن غازات الصوبة أنها نشطة إشعاعيًا وتدفئ الجو، ولكن لا يمكن القول بدرجة يقينية أن الزيادات المستمرة فى تركيزات هذه الغازات سوف تسبب زيادة متناسبة مستمرة فى التدفئة. ومن المفيد أن تُناقش هذه التغذيات الاسترجاعية ؛ لأنها تؤثر فى بعض الأفعال المقترحة للاستجابة لتغير المناخ العالمى. وهى تساعد أيضا فى تقدير قيمة وأهمية تعقيد مشكلة التدفئة العالمية. وينبغى أن نضع فى الاعتبار أن التغذيات الاسترجاعية يمكن أن تكون موجبة وسالبة معًا، وسوف نقدم أمثلة عديدة لتوضح هذا التعقيد.

وبدون شك سوف يلعب بخار الماء دورًا فى تغيرات المناخ المحتملة؛ فكلما يدفأ المناخ سيكون هناك تبخير أكثر بسبب توفير حرارة محسوسة أكثر وهواء أكثر سخونة يستطيع أن يحمل ماء أكثر من الهواء الأبرد. وقد يُنتج التركيز الأعلى من بخار الماء

فى الجو غطاء من السحب أكثر. وإذا حدث هذا الغطاء من السحب بصورة متكررة فى شكل طبقة متكسرة (من النوع المتراكم)، فإن بخار الماء الإضافى سوف يمتص، على الأرجح، الحرارة ويساهم فى التدفئة. وسوف يقوم أيضا بخار الماء الإضافى بزيادة تركيز الهيدروكسيل فى الجو. ويمكن لمجموعات الهيدروكسيد هذه أن تتفاعل مع كل من الميثان والأوزون، وتقلل تركيزاتهما وتعمل بذلك كتغذية استرجاعية موجبة بالنسبة لتدفئة الغلاف الجوى.

وسيكون لزيادة درجة الحرارة تأثيرات مضاعفة ، وسوف تشجع الأراضى الأدفأ تأكسد الكربون، وقد تقل الكمية الكلية للكربون المخزونة فى الأراضى، كما ينتظر زيادة لاحقة لتركيزات ثانى أكسيد الكربون الجوى. وقد تسمح أيضاً درجات حرارة الهواء الأدفأ بامتداد مناطق غابات جديدة فى اتجاه الشمال. ويمكن أن يكون هذا له تأثير إيجابى على تركيزات ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى، بشرط أن عملية إنشاء غابات جديدة لا يصحبها إزالة كميات مكافئة من الغابات فى أى مكان. وتؤدى المحيطات الأدفأ إلى زيادة أكبر فى تعداد النباتات المغمورة فى الماء، التى تمتص ثانى أكسيد الكربون؛ ولكن المياه الأدفأ تحتفظ بنفسها بكمية أقل من ثانى أكسيد الكربون. كما تقلل تدفئة المحيطات الزيادة فى درجة حرارة الهواء الجوى.

ولعل هناك جانبًا واحدًا لتغير المناخ العالمى لم يذكر فى الغالب ألا وهو قابلية التكيف المحتملة للسكان مع التغيرات المناخية. وأحيانا تُذكر هذه التغيرات فى سياق الحديث عن الكوارث، مثل الأراضى المنتجة التى تحولت فجأة إلى حالة شبيهة بالصحراء ، وسوف تحدث التغيرات المناخية ببطء وتدريجيا بدرجة أكبر، وينبغى أن يتكيف السكان وممارسات إنتاج الغذاء مع هذه التغيرات المناخية. وقد يتطلب الأمر نمو محاصيل الحبوب عند خطوط عرض أعلى فى نصف الكرة الشمالى ، ويمكن أن تصبح كندا والمناطق الشمالية من الاتحاد السوفيتى السابق والصين مناطق إنتاج حبوب بدرجة أكثر أهمية مما هى عليه اليوم. وقد يحدث التغير فى الإنتاج تدريجياً خلال عدة سنوات أو حتى عدة عقود. وبالإضافة إلى ذلك، فإن تربية المحاصيل والتقنية الحيوية قد تنتج محاصيل أكثر مقاومة للحرارة والجفاف. وليس المقصود من هذه النقط التى ذكرت سابقًا أن نقلل من قيمة المسائل الاقتصادية والاجتماعية المهمة المصاحبة لتغير الزراعة، ولكن بدلاً من ذلك نريد أن نوضح أن التكيف ممكن.

وبما أنه فى وقتنا الحاضر لا يمكن التنبؤ بمحصلة تأثيرات الزيادة فى تركيزات غازات الصوبة فى الغلاف الجوى؛ فكذلك لا يمكن التنبؤ أيضًا بمحصلة تأثيرات أى أفعال يؤخذ بها لتقليل انبعاثات أى من هذه الغازات فى الغلاف الجوى. وقد يتفق معظم الخبراء على أن هناك تغيرات مناخية معنوية قد تم فعلا تحفيزها قبل الآن، بالرغم أننا مع ذلك لانزال لم نعرف ماهى هذه التغييرات؟ وهذا موضح فى جدول ١٠ – ١. فمن المؤكد تمامًا أن المناخ ككل أصبح دافئا أو فى طريقه لأن يكون دافئا، وأن محصلة التأثيرات الناتجة، على الأرجح، سوف لا تكون مبشرة. وبناء على ذلك، فإن أى جهود حقيقة تعمل لتخفيض انبعاثات غازات الصوبة قد تبدو أنها جديرة بالاهتمام بالرغم أنها أمور مجهولة أو مشكوك فيها.

١٠ – ٢ الترسيب الحامضى:

لعل أحد أهم مظاهر تلوث الهواء الجوى المعروف، والمثير للجدل والخلاف أيضًا هو موضوع **المطر الحامضى** ، ويستحضر هذا المصطلح صورًا مخيفة للتلوث الصناعى لمياه الأمطار الساقطة على الأرض، والذى يسبب دمارًا بيئيًا خطيرًا وربما غير عكسى. ومن الناحية الفنية، فإن مصطلح **الترسيب الحامضى** – الذى يشمل ليس فقط الأمطار الساقطة، بل يشمل أيضا الضباب الحامضى، والندى، والجليد الذائب، والغـازات، والمواد العالقة الجافة – يُعدّ مصطلحًا أكثر تعبيرًا وأكثر دقة للمشكلة. ويعتبر المنشأ الأساسى للترسيب الحامضى هو انبعاث أكاسيد الكبريت(SO_2) وأكاسيد النتروجين (NO_x) عندما يحترق الوقود الحجرى لغرض إنتاج الطاقة. وتشمل المصادر النموذجية لهذه الملوثات المحمولة فى الهواء وحدات توليد القوى الكهربائية من احتراق الفحم والبترول ، والسيارات والمركبات الأخرى، والعمليات الصناعية الكبيرة (مثل: المسابك) (شكل ١٠ – ٦). وبمجرد أن تدخل هذه الغازات الغلاف الجوى للكرة الأرضية، فإنها تتفاعل بسرعة فائقة مع الرطوبة فى الهواء لتُكوِّن حامض كبرتيك (H_2SO_4) وحامض نتريك (HNO_3). ويكون رقم حموضة المطر الطبيعى الساقط والذى فى حالة اتزان مع ثانى أكسيد الكربون الجوى حوالى ٥٫٦، ومع ذلك، وكما هو موضح فى شكل ١٠ – ٧ بالنسبة للولايات المتحدة، فإن رقم حموضة المطر الساقط

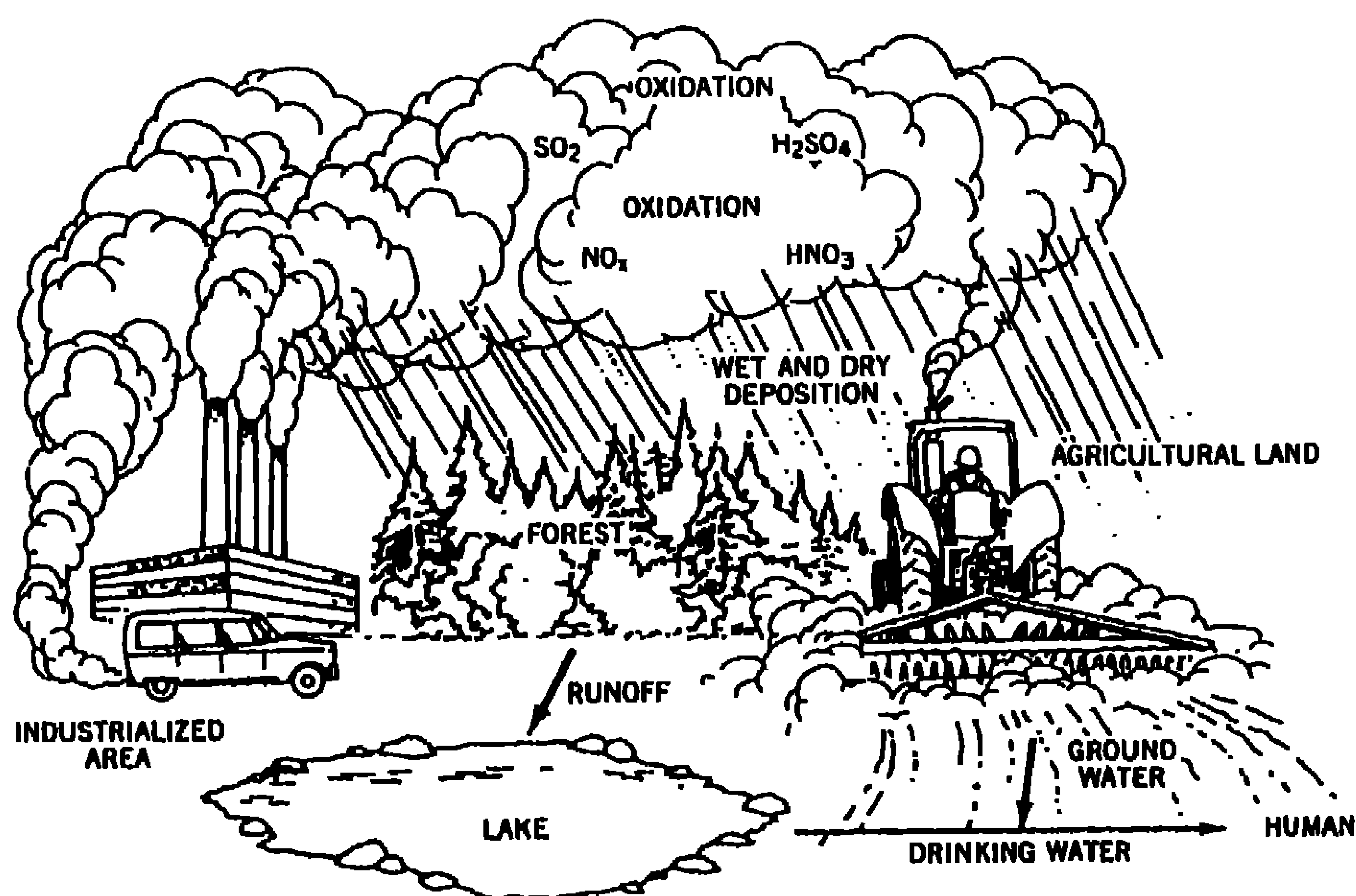
يكون أقل من ٥ر٤ فى كثير من المناطق الصناعية فى العالم. وعندما تترسب هذه الأحماض بعدئذ فى البحيرات، والجداول، والغابات، والنظم البيئية الطبيعية الأخرى، إما عن طريق الترسيب الرطب أو الترسيب الجاف، يحدث عدد من التأثيرات البيئية المعاكسة. ولعل أكثرها خطورة هو التدمير المباشر للكساء الخضرى (وبصفة خاصة الغابات)، والتغيرات فى كيمياء التربة وكيمياء المياه السطحية، والتى يمكن أن تؤثر بطريقة عكسية على النباتات والحيوانات.

ولقد ازدادت انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت (SO_2)، وأكاسيد النتروجين (NO_x) بدرجة واضحة فى القرن العشرين (جدول ١٠ – ٤)؛ ومع ذلك ، فكما ذُكر سابقًا بالنسبة للملوثات الجوية الأخرى ، توجد درجة كبيرة من الشك أو عدم اليقين بالنسبة للوسائل الفعلية التى عن طريقها يؤثر الترسيب الحامضى فى بيئتنا. وعلى سبيل المثال ، لنقتبس ونستشهد بتقرير المجلس القومى للبحوث عام ١٩٨٦ « .... إن الشك فى المعطيات يجعل من الصعب الوصول إلى استنتاجات بخصوص اتجاهات الحموضة والقاعدية فى بحيرات Adirondack خلال الخمسين عامًا الماضية . وتوضح الأدلة الكيميائية والبيولوجية أن الترسيب الحامضى للكبريتات سبّب النقصان فى القاعدية فى بعض هذه البحيرات » ، وبالاقتباس من نفس التقرير، بالنسبة للغابات فى شرق الولايات المتحدة، « .... لا تسمح المعطيات الحالية بعمل تقويم كاف لدور الترسيب الحامضى والعوامل الأخرى فى هذه الظاهرة». وتعكس هذه المقتبسات نسبيا المعارضة العامة لكثير من العلماء للتعميم الزائد والمبالغ فيه لأسباب ونتائج العلاقات فى مشكلة بيئية بالغة التعقيد. والسبب الرئيسى لعدم الصدق هذا هو الحقيقة بأن التغيرات الأخرى فى كيمياء الغلاف الجوى والتغير فى المناخ العالمى تتوازى مع الزيادة فى الترسيب الحامضى.

ومع ذلك، فإن معظم الدول الصناعية توصلت إلى أن هذه القضية تعدّ غاية فى الخطورة وتستحق المتابعة، ولن تصل إلى حل نهائى لجميع القضايا العلمية المتعلقة بها، وهى عملية يمكن أن تستغرق عقودا من السنين. فعلى سبيل المثال، بحلول عام ١٩٨٨، وقّعت ٢١ دولة أوربية اتفاقية «تلوث الهواء عبر الحدود طويل الأجل»، والتى كانت تهدف إلى تخفيض انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت بحوالى ٣٠٪ ابتداءً من ١٩٨٠ حتى حلول عام ١٩٩٣ . وبكل تأكيد، يُعتبر التقدم بطيئا بسبب النقص فى مصادر

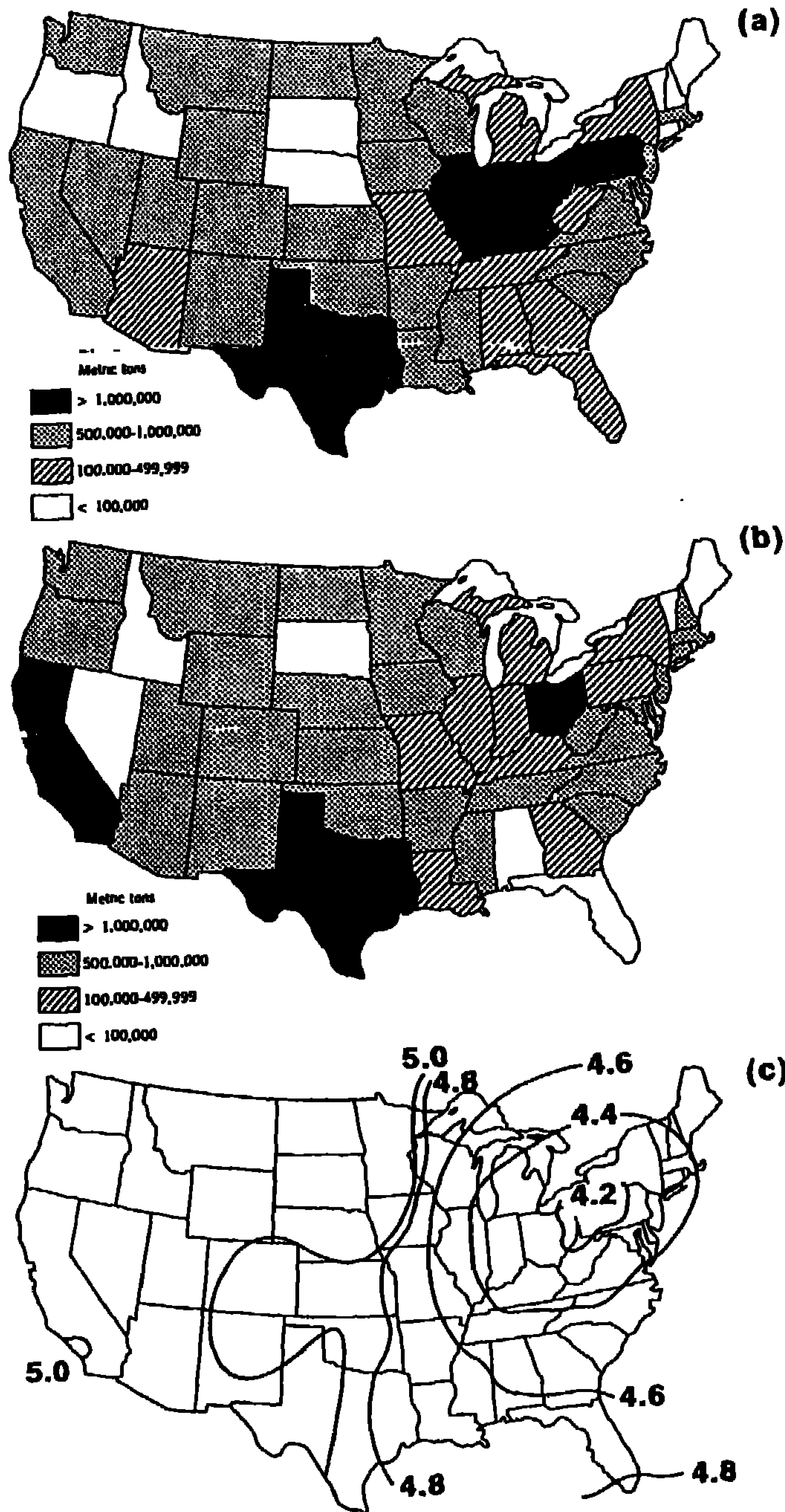
الطاقة البديلة لتلك التى تنتج ثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين ، وكذلك عدم توفر بلايين الدولارات اللازمة لتخفيض انبعاثات هذه الغازات من المصادر الحالية. ولسوء الحظ - وكما هو الحال مع كثير من القضايا البيئية الأخرى - تُعدُّ الحلول لمشكلة الترسيب الحامضى معقدة ومرتفعة التكلفة، كما تأخذ وقتا طويلا بطبيعتها.

وسوف نتحدث - فى هذا القسم - عن مصادر الترسيب الحامضى والتوزيع الجغرافى له، وسوف نصف أنواع المشاكل الأكثر انتشاراً، والتى يمكن أن تنتج، وسوف نعطى رؤية زائدة عن بعض جهود العلاج المستخدمة حاليا لكى تعكس تأثيرات التحميض.



شكل ١٠ - ٦ انتاج وتوزيع الترسيب الحامضى.

(EPA, 1980.)



شكل ١٠ – ٧ التوزيع الجغرافى(a) لانبعاثات ثانى أكسد الكبريت،(b) وانبعاثات أكاسيد النتروجين، (C) والترسيب الحامضى فى الولايات المتحدة.

(EPA, 1988, Council on Environmental Quality, 1989, and World Resources Institute, 1988.)

جدول ١٠ – ٤ الاتجاهات التاريخية لانبعاثات أكاسيد الكبريت والنتروجين.

المنطقة	١٩٠٠	١٩٢٥	١٩٥٠	١٩٧٠	١٩٨٥
	انبعاثات أكاسيد الكبريت (مليون ميجاجم / سنة)				
الولايات المتحدة:					
شمال شرق	١ر١	٣ر٥	٢ر –	٢ر٦	١ر٦
جنوب شرق	٠ر٦	١ر٤	١ر٦	٣ر٢	٢ر٨
وسط الغرب الصناعية	١ر٨	٣ر٩	٣ر٥	٤ر٨	٣ر٦
وسط الغرب العليا	٠ر٤	٠ر٩	٠ر٧	٠ر٩	٠ر٥
شمال شرق كندا	٠ر٢	٠ر٩	١ر٨	٣ر٢	١ر٧
المملكة المتحدة	١ر٤	–	٢ر٣	٣ر١	١ر٨
	انبعاثات أكاسيد النتروجين (مليون ميجاجم / سنة)				
الولايات المتحدة:					
شمال شرق	٠ر١	٠ر٩	١ر٩	٣ر٩	٣ر٥
جنوب شرق	٠ر١	٠ر٤	١ر٦	٥ر٦	٦ر٤
المملكة المتحدة	—	—	٠ر٢	٠ر٧	٠ر٧

(Charles , 1991 and Mason , 1992.)

١٠ – ٢ – ١ مصادر وتوزيع الترسيب الحامضى:

تعتمد طبيعة الترسيب الحامضى (أى النسب المئوية النسبية لحامض الكبريتك وحامض النتريك الموجود) بدرجة كبيرة على التوزيع الجغرافى لمصادر ثانى أكسيد الكبريت، وأكاسيد النتروجين. وفى الولايات المتحدة، يُعدّ حامض الكبرتيك هو المصدر الرئيسى للحموضة فى الترسيب فى ولايات وسط غرب البلاد وشمال شرقها ، وذلك بسبب أن مؤسسات توليد الكهرباء من حرق الفحم فى هذه الولايات، وفى كندا تُطلق كميات كبيرة من ثانى أكسيد الكبريت. وفى الولايات الغربية، فإن مؤسسات الكهرباء والصناعة تحرق فحما يحتوى كبريت بنسبة أقل، بينما يكون حامض النتريك له شأن أكبر، ومقلقا بدرجة أكبر، خصوصا فى المناطق المكتظة بالسكان مثل كاليفورنيا؛ حيث تعتبر فيها السيارات والمركبات الأخرى التى تحرق الجازولين المصادر الرئيسية لأكاسيد النتروجين ، ويوضح شكل ١٠ – ٧ الطبيعة الجغرافية لانبعاثات ثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين وحموضة الترسيب فى الولايات المتحدة.

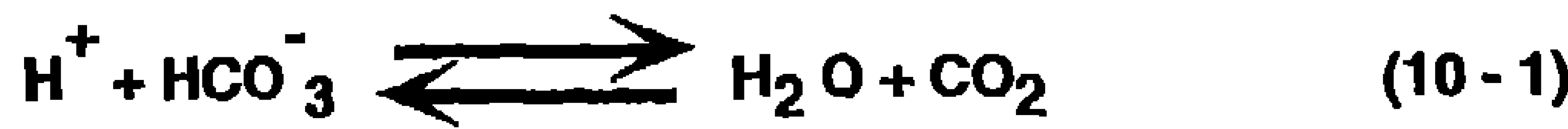
تعبُر قضية الترسيب الحامضى الولاية والحدود الوطنية ؛ لأنه بالرغم أن المركبات الحامضية يمكنها أن تترسب عند مسافات قصيرة من مصدر توليدها، إلا أنه يمكنها أيضا أن تنتقل مئات الأميال قبل أن تعود إلى الأرض فى هيئة مطر ساقط أو أشكال أخرى. ولقد قُدر، على سبيل المثال، أن ٣٠ – ٤٠٪ من الكبريت المترسب فى الشمال الشرقى للولايات المتحدة نشأ فى ولايات وسط الغرب الصناعية. وعلى المستوى الدولى، ناقشت الولايات المتحدة وكندا مصادر الترسيب الحامضى واقتصاديات عكس التحميض فى المناطق الشرقية لأمريكا الشمالية. ولاتزال كل من الولايات المتحدة وكندا تطوران استراتيجية شاملة لمواجهة المشكلة. وبالمثل، فى أوروبا، فإن المساحة الصغيرة لكثير من الدول الأوربية تعنى أن الانبعاثات فى منطقة صناعية واحدة فى دولة ما يمكن أن تؤثر بسرعة وبسهولة على الغابات والبحيرات فى دولة أخرى. ولقد قدرت دراسة حديثة أن ١٧٪ من الترسيب الحامضى الساقط على النرويج ينشأ فى بريطانيا ، وأن ٢٠٪ فى السويد يأتى من أوروبا الشرقية. وقد تعنى التغيرات السياسية الحديثة وعدم الاستقرار الاقتصادى الحالى فى دول أوروبا الشرقية تأخيراً كبيراً فى تنفيذ الاتفاقيات الدولية التى تهدف إلى تخفيض انبعاث المركبات الحامضية؛

حيث تستخدم هذه الدول الفحم فى توليد الطاقة الكهربائية، وهو يحتوى على كبريت بنسبة عالية.

١٠ – ٢ – ٢ التأثيرات البيئية للترسيب الحامضى:

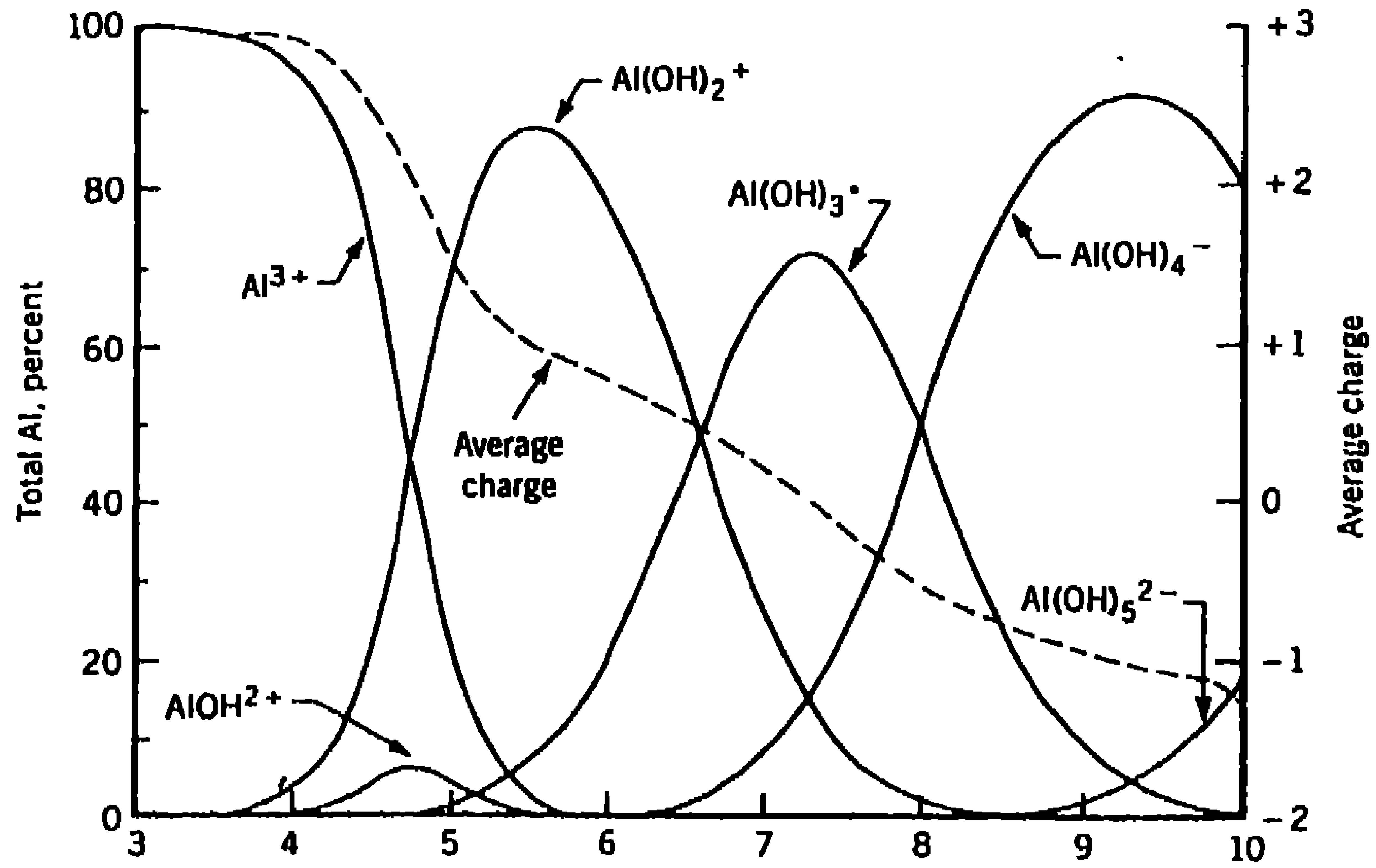
يمكن أن يكون للترسيب الحامضى نتائج بيئية كثيرة. وقبل أن نناقش الآليات المتضمنة وبعض الأساليب التى تعكس نتائج التحميض، فإنه من المهم أن نستعرض أولا باختصار طبيعة الحموضة فى التربة والبيئات المائية. وباستخدام أبسط المصطلحات نقول: إن الأحماض هى المواد التى تميل إلى أن تمنح بروتونات (أيونات هيدروجين) لمادة أخرى فى تفاعل كيميائى. وتقسم الأحماض غالبا إلى أحماض قوية أو أحماض ضعيفة، تميل الأحماض القوية إلى الانقسام الكامل (تفقد بروتونات) فى الماء، بينما يحدث للأحماض الضعيفة انقسام جزئى فقط. وبالإضافة إلى حامضى الكبرتيك والنتريك، هناك أحماض قوية أخرى شائعة وهى أحماض الهيدروكلوريك (HCl) والفوسفوريك (H_3PO_4)؛ وتشمل الأحماض الضعيفة أحماض الكربونيك (H_2CO_3)، الخليك (CH_3COOH)، والبوريك ($H_3 BO_3$)(لاحظ أن حمضى الكبرتيك والنتريك فقط هما المكونان المهمان للترسيب الحامضى). ويستخدم مصطلح رقم الحموضة pH ليوضح الحموضة النسبية للمحلول (أوالتربة) ، ويعرف بأنه اللوغاريتم السالب لنشاط أيونات الهيدروجين [$pH = - \log (H^+)$] ، ومن هنا، فكلما ازداد تركيز أيونات الهيدروجين فى المحلول، انخفض رقم الحموضة pH. ورقم الحموضة للماء النقى = ٠ر٧، وتبلغ قيمته لماء المطر الساقط الطبيعى ٦ر٥، وفى الترسيب الحامضى الشديد يكون pH أقل من ٠ ر٤. وتتراوح قيمة رقم الحموضة لمعظم الأراضى من ٠ر٣ إلى ٠ر٨ ؛ وبالنسبة لمعظم نظم الإنتاج النباتى، فإن رقم الحموضة الموصى به يتراوح من ٠ر٦ إلى ٠ر٧. وعندما تضاف الأحماض إلى الأراضى أو المياه، يحدث نقص فى رقم الحموضة يعتمد بدرجة كبيرة على مقدرة النظام على الفعل التنظيمى «التخفيفى». ويشير الفعل التنظيمى «التخفيفى» إلى قدرة النظام على المحافظة على رقم حموضته

الحالى أى مقاومة التغير فى رقم حموضته عن طريق معادلة الحموضة المضافة. ويعتبر الطين، والمادة العضوية، وأكاسيد الحديد والألومنيوم، وكربونات الكالسيوم والمغنسيوم (الحجر الجيرى) هى المكونات المسئولة عن تنظيم رقم الحموضة فى معظم الأراضى. وبناءً على ذلك، سوف يكون للترسيب الحامضى تأثير على الأراضى الرملية المنخفضة فى المادة العضوية أكبر من الأراضى الأعلى فى الطين، والمادة العضوية، والكربونات. وفى المياه العذبة، فإن آلية «التخفيف» الرئيسية هى تفاعل أيونات البيكربونات الذائبة مع أيونات الهيدروجين كمايلى:



$$H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2O + CO_2 \qquad (10-1)$$

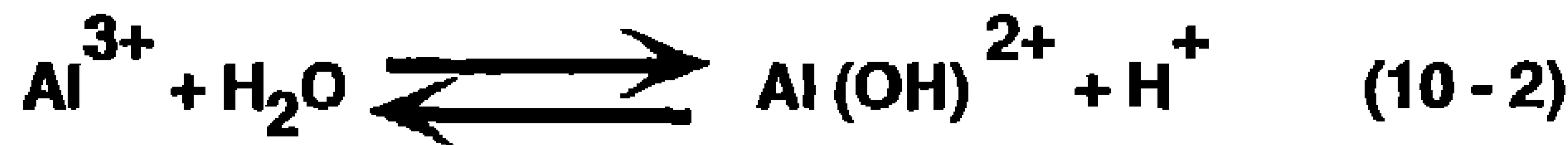
وفى كثير من النظم الطبيعية، لا يعزى فى الغالب التدمير الناتج من التحميض إلى وجود أيونات هيدروجين زيادة، ولكنه بدلا من ذلك يعزى إلى التغيرات فى العناصر الأخرى عندما يصبح النظام أكثر حموضة (أى عندما ينخفض رقم الحموضة). وتشمل الأمثلة لذلك زيادة ذوبان أيونات المعادن التى تعتبر سامة للنباتات والحيوانات مثل الألومنيوم وبعض العناصر النادرة (مثل الرصاص)، كما تشمل الفقد السريع والكبير للكاتيونات القاعدية (مثل الكالسيوم والمغنسيوم)، وأيضا خلق بيئات تربة غير مناسبة للكائنات الدقيقة المهمة فى دورات العناصر الكثيرة. وفى المواطن الحضرية أو الصناعية، فإن الزيادة فى الحموضة يمكن أن تذيب الكربونات (مثل الحجر الجيرى، الرخام) فى المبانى والبنايات الأخرى، وتآكل أو تتلف المعادن فى كثير من الأماكن، مؤدية إلى دمار اقتصادى وجمالى كبير. ولعل أحد الأمور الحضرية المهمة والمقلقة على المدى الطويل هو تأثير الترسيب الحامضى على نظم مياه البلديات التى تعتمد على المياه السطحية لتوفير مياه الشرب. وتستخدم كثير من البلديات مواسير من الرصاص والنحاس فى نظم توزيع المياه على نطاق واسع. ومن هنا، تثار التساؤلات حديثا حول نتائج الذوبان البطىء لبعض المعادن (الرصاص، النحاس، الزنك) من مواد المواسير الممدودة على صحة الإنسان؛ والتى سببها تعرض هذه المواسير إلى مياه أكثر حموضة.



شكل ١٠ – ٨ توزيع الصور الذائبة للألومنيوم كدالة لرقم الحموضة pH.
(Marion et al . , 1976.)

١٠ – ٢ – ٣ تأثير الترسيب الحامضى على الأراضى:

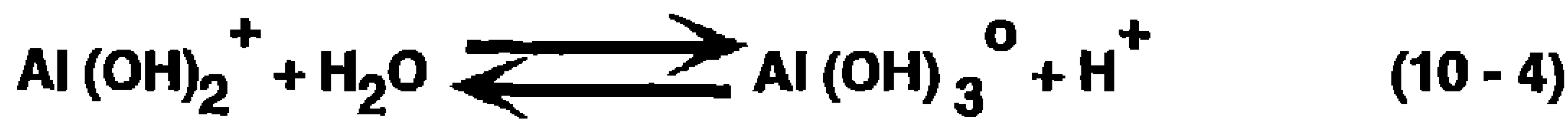
تصبح الأراضى حامضية عن طريق عدد من العمليات المختلفة. وفى المناطق الرطبة، تؤدى التجوية الطبيعية إلى تحميض الأراضى لأن الترسيب يتعدى أو يزيد عن التبخير – نتح. وكما ذكرنا سابقا، يعدُ ماء المطر «الطبيعى» حامضيا (له رقم حموضة حوالى ٦ر٥) ويضيف باستمرار حامضًا ضعيفًا (H_2CO_3) إلى الأراضى. وينتج عن هذا التحميض غسيل الكاتيونات القاعدية (الكالسيوم، المغنسيوم) من آفاق التربة الأعلى، تاركًا الألومنيوم فى صورة كاتيون متبادل سائد. ويكون الألومنيوم المتبادل متزنا مع الألومنيوم الذائب فى المحلول الأرضى الذى يمكن أن يتفاعل مع الماء لينتج أيونات هيدروجين، وهكذا تصبح التربة حامضية، كما هو موضح فى شكل ١٠ – ٨، وطبقًا للمعادلات التالية:



$$Al^{3+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)^{2+} + H^+ \qquad (10 - 2)$$



$$Al(OH)^{2+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_2^{+} + H^+ \qquad (10 - 3)$$



$$Al(OH)_2^{+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3^{o} + H^+ \qquad (10 - 4)$$

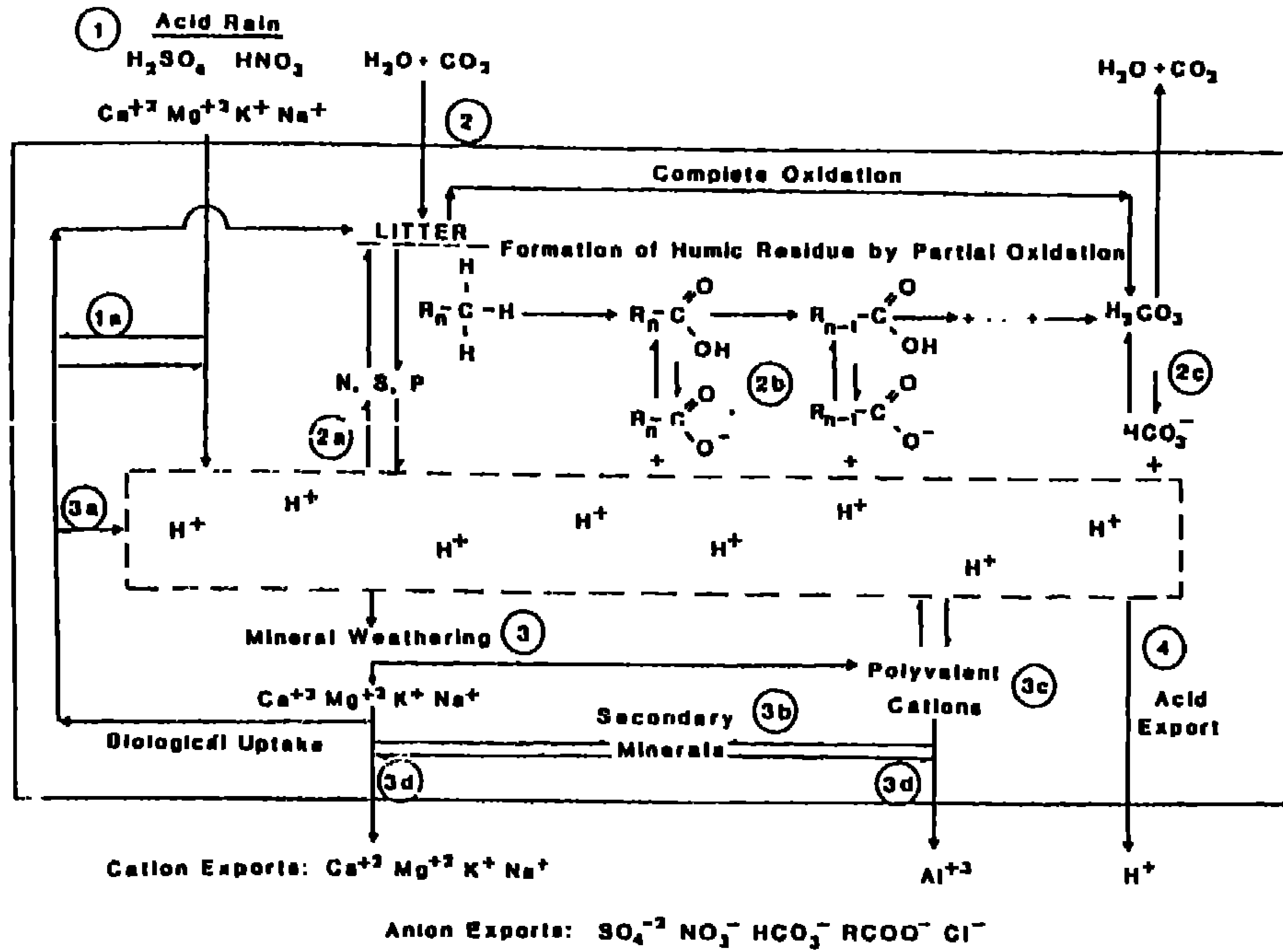
وتشمل العمليات الطبيعية الأخرى التى تسهم فى تحميض التربة:

(١) معدنة وتأزت النتروجين العضوى (انظر الفصل الرابع)،

(٢) تنفس النباتات والميكروبات والذى ينتج عنه ثانى أكسيد الكربون، ومن ثَمَّ حامض كربونيك،

(٣) تأكسد كبرتيد الحديد FeS_2 فى الأراضى المفككة بواسطة عمليات التعدين أو الصرف. ومع ذلك، فإن كثيرا من الحموضة فى الأراضى بين رقمى حموضة ٤ ، ٥ر٧ ترجع إلى التحلل المائى للألومنيوم. وفى الأراضى شديدة الحموضة (رقم حموضة لها أقل من ٤)، فإن الأحماض القوية مثل حمض الكبرتيك هى المُكوّن الرئيسى لحموضة التربة.

ويضيف الترسيب الحامضى أحماضاً قوية إلى الأراضى، وتحت ظروف معينة يمكن أن يؤدى هذا إلى غسيل الكاتيونات القاعدية وزيادة ذوبان الألومنيوم. ومع ذلك، فإن الكيمياء غيرالعضوية والعضوية لهذا النظام عالية التعقيد (شكل ١٠ – ٩) ، وعلى الرغم من الجهد البحثى المكثف ستظل هناك خلافات علمية كبيرة بخصوص الآليات النوعية المتضمنة والحالات التى سوف يكون فيها للترسيب الحامضى تأثير بيئى معنوى. ومن الناحية العملية، سوف يكون للترسيب الحامضى تأثير على أراضى الغابات أكبر من الأراضى الزراعية أوالأراضى الحضرية ؛ لأنه فى الحالات الأخيرة نقوم، بصفة روتينية وبطريقة غير مكلفة، بإبطال تأثيرات جميع عمليات التحميض بواسطة عملية إضافة الجير. وبالرغم أنه من الممكن أن نضيف الجير إلى أراضى الغابات، إلا أن المنطق والتكاليف غالبا تجعل هذا مستحيلاً كممارسة إدارة روتينية فيما عدا فى المناطق الشديدة التأثر بالترسيب الحامضى، ويعتمد معدل ودرجة التحميض الزائد فوق الذى يسببه المطر الحامضى الطبيعى على كل من قدرة الأرض



شكل ١٠ – ٩ تأثير الترسيب الحامضى على الأراضى . (1a ، 1) مدخلات المطر الحامضى تضيف أيونات H^+ وأنيونات حامضية ، وكاتيونات قاعدية ؛ (2) العمليات الحيوية مثل المعدنة (2a) الكربون ، النتروجين ، الكبريت، الفوسفور تنتج أيونات هيدروجين ، ولكنها تكون أحماضاً عضوية ضعيفة يمكنها أن تستهلك H^+ (2b) أوتؤدى فى النهاية إلى فقد الماء وثانى أكسيد الكربون من التربة بعد الأكسدة الكاملة (2C) ؛ (3) تجوية المعادن الأولية تنتج كاتيونات للامتصاص بواسطة النبات (3a) ، معادن ثانوية (3b) ، وكاتيونات حامضية (3c)، وكاتيونات قاعدية (3d) ؛ (4) تصدير الشحنة الموجبة من الأراضى فى هيئة كاتيونات قابلة للغسيل (Na^+, K^+, Mg^{2+} ,Ca^{2+} , Al^{3+} ,H^+) يجب أن يتزن كهربائيا عن طريق تصدير الأنيونات (SO_4^{2-}، NO_3^-، Cl^-، HCO_3^-، أحماض عضوية).

التنظيمية واستغلال التربة. وتتعقد القضية بالحقيقة التى تعنى أن كثيرا من المناطق المعرضة لأكبر كمية من الترسيب الحامضى هى أيضا المناطق التى يحدث بها تحميض طبيعى كبير؛ فعلى سبيل المثال: أراضى الغابات فى الشمال الشرقى للولايات المتحدة نشأت وتطورت من مادة أصل عالية الحموضة واجتازت أيضا تغيرات هائلة فى استخدام الأرض فى الـ ٢٠٠ سنة الماضية، وقد ساهم هذا فى التحميض الطبيعى. والقطع الكلى لهذه الغابات أو حرقها بواسطة الأوروبيين الأوائل لكى يستقروا فى المنطقة تم تصحيحه تقريبا، وفى الوقت الحالى تم تحويل كثير من المناطق إلى غابات.

ويمثل الدبال الذى يتراكم فى هذه الغابات مصدرا طبيعيا للحموضة، كما يقوم بتنظيم pH التربة، وهو مايجب أن يكون متوازنًا مع مصادر الحموضة الراجعة لنشاط الإنسان (مثل الترسيب الحامضى). وبالمثل فإن الغسيل الأكبر أو الاستنفاد الأكبر للكاتيونات القاعدية بواسطة امتصاص النبات فى المناطق المعاد زراعتها غابات بدرجة كثيفة ينبغى أن يأخذ فى الاعتبار المدخلات المهمة لنفس هذه العناصر من الترسيب. ولقد قامت أبحاث كثيرة بدراسة التغيرات فى الخواص الكيميائية للأراضى بعد الترسيب الحامضى طويل المدى وكذلك بعد تغير نماذج استغلال الأراضى ، وبالرغم أنها لا تدخل فى نطاق هذا الفصل، فقد وضعنا لها مراجع عديدة ممتازة فى جزء المراجع لهذا الفصل.

وتُعدّ الأراضى شديدة الحموضة غير مرغوبة لعدة أسباب ؛ فيمكن أن تُحدث الحموضة سمية مباشرة للنباتات من Al^{3+} أو Mn^{2+} الذائب وتضر جذور النبات بدرجة خطيرة، وتقلل نمو النبات، وتزيد حساسية النباتات للكائنات المرضة. وتتعقد العلاقة بين سمية الألومنيوم ورقم حموضة التربة بالحقيقة التى تعنى أنه فى حالات معينة يمكن للمادة العضوية أن تُكوّن مركبات معقدة مع الألومنيوم، وهذا من شأنه أن يقلل تأثيراته الضارة على النباتات. وتُعتبر الأراضى الحامضية ذات خصوبة منخفضة فى العادة، أو غير خصبة بالمرة حيث ينقصها كاتيونات قاعدية مهمة مثل البوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنسيوم. وقد تقوم النباتات البقولية بتثبيت كميات نتروجين أقل تحت الظروف الحامضية الشديدة بسبب انخفاض نشاط البكتريا الجذرية وزيادة ادمصاص

الموليبدنم (فى صورة أنيون موليبدات (MoO_4^-) بواسطة معادن الطين وأكاسيد الحديد والألومنيوم. ومعروف أن الموليبدنم مُكوّن رئيسى لإنزيم النتروجينيز؛ وهو إنزيم مهم فى عملية تثبيت النتروجين الجوى. ويمكن أيضا أن تنخفض معدنة النتروجين، والفوسفور، والكبريت بسبب انخفاض النشاط البنائى للبكتريا عند أرقام الحموضة المنخفضة. ورغما عن ذلك، ينبغى ملاحظة أن كثيراً من النباتات والكائنات الدقيقة تتأقلم مع الظروف شديدة الحموضة أو تفضلها (مثل رقم حموضة أقل من٥). وتشمل الأمثلة لذلك نباتات الزينة مثل جماعة أزاليا (صحراوية) وجنس رودندرون (وردية) ونباتات الغذاء مثل نبات مَنيهوُت (يستخرج من جذوره دقيق نشوى)، والشاى، وعنب الأحراج (عنب الدُبّ)، والبطاطس. وفى الحقيقة، هناك جهود كبيرة فى مجال تربية النباتات والتقنية الحيوية موجهة ناحية تطوير نباتات مقاومة للألومنيوم والمنجنيز ، والتى يمكنها أن تحيا فى مناطق حيوية مثل المناطق الأستوائية ؛ حيث تشيع الأراضى عالية الحموضة.

١٠ - ٢ - ٤ تأثير الترسيب الحامضى على الحياة النباتية :

يمكن القول إن أهم قضية مرئية شائعة الانتشار مرتبطة بالترسيب الحامضى هى تأثير الترسيب الحامضى على نمو نباتات الغابات. وقد لوحظ انتشار نقص الغابات بدرجة واسعة فى المناطق التى يحدث بها ترسيب حامضى كبير. ولقد قُدّر فى أوروبا أن أكثر من ٣٥٪ من جميع الغابات تأثرت بالترسيب الحامضى. وبالمثل، فى الولايات المتحدة، كما لوحظ بالخبرة وبالتجربة وجود نقص مستمر فى نمو الأشجار لبضعة عقود، كما ظهرت فيها أضرار مرئية خطيرة. وقد حدث هذا فى سلاسل كثيرة من الغابات المهمة مثل: الأديرو نداك فى نيويورك، والجبال الخضراء فى ڤيرمونت، والجبال الضخمة الداخنة فى شمال كارولينا . ومع ذلك، كما لوحظ سابقًا ، فإن الدليل الحاسم على نقص الغابات أو موتها بسبب الترسيب الحامضى فقط معدوم ومعقد بالكثير من التفاعلات بين التحميض والعوامل البيئية الأخرى أو العوامل الحيوية التى تؤثر على نمو النبات. ونحن هنا نقدم ملخصًا وجيزًا لبعض الوسائل التى عن طريقها

يمكن للترسيب الحامضى أن يؤثر مباشرة على النباتات؛ أما التأثيرات غيرالمباشرة على نمو النباتات الراجعة إلى تحميض التربة فيمكن أن تكون أيضا معنوية ولقد تم تلخيصها فى القسم ١٠ - ٢ - ٣.

وقد يدخل الترسيب الحامضى الرطب والجاف على الأوراق مباشرة عن طريق الثغور. وعندما يكون الترسيب حامضيًا بدرجة كافية (رقم حموضة حوالى ٣)، يمكن أن يحدث أيضًا تلف للكيوتيكل الشمعى على سطح الأوراق، وهذا يزيد احتمال حدوث ضرر مباشر لخلايا الميزوفيل فى الأوراق المعرضة ، وتعتبر تشققات الأوراق أحد أهم الأعراض الشائعة للنباتات المعرضة للترسيب الحامضى، ويمكن للمركبات الغازية مثل SO_2,SO_3 الموجودة فى الندى أو الضباب أن تدخل الأوراق عن طريق الثغور، وتكوّن حامض كبرتيك بالتفاعل مع الماء فى سيتوبلازم خلايا الأوراق، وتعطل كثيراً من العمليات البنائية المتوقفة على رقم الحموضة ، وأوضحت كثير من الدراسات موت الأوراق عندما تتعرض لمستويات عالية من غاز ثانى أكسيد الكبريت. وتعتبر الآلية الحقيقية التى بواسطتها يسبب تحميض خلايا الورقة ضرراً للأوراق غير معروفة، وبالطبع تختلف بين الأصناف المختلفة للنبات. وتشمل التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للتعرض للترسيب الحامضى ما يلى:

(١) ضعف خلايا البشرة.

(٢) تآكل أو إزالة الكيوتيكل.

(٣) فقد تكامل الكلوروبلاست والنقص فى نسبة الكلوروفيل.

(٤) تقطع أوتفكك الألياف فى جُدُر الخلايا ونقص تكامل غشاء الخلية.

(٥) تغيرات فى الجهد الإسموزى تسبب نقصا فى انتفاخ الخلية.

ولقد اهتمت بحوث كثيرة بالتأثيرات الثانوية على نمو النباتات المعرضة للترسيب الحامضى، وبصفة خاصة احتمال زيادة الأمراض أو الإصابة بالحشرات. وهناك افتراض عام وهو أن أى ضرر لسطح الورقة سوف يعزز قدرة الكائنات الممرضة على البقاء وكذلك دخولها فى النبات. وأوضحت الدراسات أن الأوراق المعرضة للترسيب الحامضى تصبح أكثر «قابلية للترطيب أو البلل» وهو شرط رئيسى

لتأسيس وتأهيل الكائنات المرضة ، وتعتبر التشققات على سطوح الأوراق المتأثرة بالتحميض بمثابة فتحات تسمح بدخول الكائنات المرضة للنبات، وبنفس طريقة الجروح الطبيعية ، وهناك تأثيرات أخرى للترسيب الحامضى على الأوراق؛ فقد تجعل أيضا هذه الأوراق عرضة للأمراض أو ميالة للإصابة بواسطة الحشرات، كما أن هناك عمليات تؤدى إلى ضعف مقاومة النباتات لأى نوع من الإجهاد مثل:

(١) غسيل العناصر الغذائية والمركبات العضوية.

(٢) تعطل عملية التمثيل الضوئى.

(٣) تعطل عملية بناء العناصر الغذائية.

وقد تزداد أيضاً أمراض الجذور فى الأراضى شديدة الحموضة. وبالإضافة إلى الدمار الذى يحدث للجذور من التعرض لحامضى الكبرتيك والنتريك ؛ فالجذور يمكن أن يحدث لها ضرر مباشر أو يضعف معدل نموها بسبب زيادة تركيزات الألومنيوم والمنجنيز الذائبين فى منطقة الجذور «الريزوسفير». وقد وجد أن إفرازات الجذور (مركبات عضوية تفرز من خلايا الجذور) تزداد عندما تتأثر عملية التمثيل البنائى للجزء الخضرى بالترسيب الحامضى على الأوراق والسيقان. والتغيرات فى كمية وتركيب هذه الإفرازات يمكن بعدئذ أن تُغيِّر نشاط وتنوع الكائنات المرضة فى التربة الحاملة لها. والاتجاه العام المصاحب لزيادة إفرازات الجذور هو تعزيز أو زيادة تعداد الميكروبات الراجع إلى توفير إضافى من الكربون (الطاقة). ويستطيع أيضا التحميض المزمن أن يُغيِّر درجة تيسر العناصر الغذائية ونماذج امتصاصها، وبالتالى يتأثر نمو الجزء الخضرى، ومن ثمَّ المحصول.

١٠ - ٢ - ٥ تأثير الترسيب الحامضى على نظم البيئة المائية :

يعتبر فساد المياه العذبة من الترسيب الحامضى مشكلة خطيرة مُوثَّقة جيدا وبصورة متزايدة على مستوى العالم، وكما هو الحال مع الغابات، تكمن أهمية الدليل العلمى فى أنه يقترح وجود عدد من العوامل ذات العلاقات المتبادلة المصاحبة للترسيب

الحامضى هى المسئولة عن كثير من التغييرات غيرالمرغوبة الحادثة فى نظم البيئة المائية. ومع ذلك، فتحميض المياه العذبة ليس ظاهرة جديدة. وتقترح دراسات رواسب البحيرات أن التحميض المتزايد بدأ فى أواسط ١٨٠٠، بالرغم أن العملية ازدادت بسرعة كبيرة منذ عام ١٩٤٠. والبحث العلمى المكثف على هذا الموضوع تم إنجازه منذ بداية عام ١٩٧٠، وأدى إلى مئات من الأبحاث الفنية وعشرات من الكتب الشاملة على هذا الموضوع (راجع قسم المراجع لهذا الفصل). ويعتبر الموضوع معقداً، وقد وجد أن حجم تأثير الترسيب الحامضى على المياه العذبة يختلف كثيرا بين المناطق الجغرافية ، ويستعرض هذا الجزء العوامل الرئيسية التى تحكم درجة انتشار التحميض للمياه العذبة، والتأثيرات البيئية الشائعة الانتشار، وبعض أساليب علاج المشكلة.

وتعتبر الجيولوجيا، وخواص الأراضى، واستغلال التربة هى العوامل المحددة الرئيسية لتأثير الترسيب الحامضى على كيمياء المياه والكائنات الحية، كما هو موضح فى جدول ١٠ – ٥ لاثنين من مستجمعات الأمطار فى أوروبا ، كما أن البحيرات والجداول الواقعة فى مناطق بها صخور جيرية (مثل الحجر الجيرى) تقاوم التحميض أكثر من تلك التى تسود فيها صخور الجرانيت والنيس. وتميل أيضًا الأراضى الناشئة من مواد أصل جيرية إلى أن تكون أكثر عمقا وأكثر تنظيمًا (أى أكثر مقاومة) ضد التحميض مقارنة بالأراضى الحامضية غير العميقة الشائعة فى المناطق الجرانيتية. وتؤثر أيضا إدارة الأراضى فى حموضة المياه العذبة. وتميل مستجمعات الأمطار المحرّجة (أى المزروعة غابات) إلى أن تساهم بحموضة أكثر من تلك التى تسود فيها المروج، والمراعى، والمحاصيل الزراعية. وقد وجد أن الأشجار والنباتات الأخرى فى الغابات تحتفظ على أوراقها وسيقانها بالمركبات الحامضية الموجودة فى الضباب، والندى، والمواد العالقة فى الجو. وتصل هذه المركبات الحامضية فيما بعد إلى أراضى الغابات عندما يقوم المطر الساقط بإزاحتها من أسطح النباتات. وبذلك يكون فى الغالب المطر الساقط تحت ظلّة الغابة (الجزء الأعلى المتغصّن من الغابة) أكثر حموضة من الترسيب الجوى. ويمكن لعمليات التأجيم (زراعة الغابات والعناية بها) التى تفكك الأراضى مثل الغرس، والتسميد، والصرف، وحصاد الأشجار أن تزيد درجة الحموضة عن طريق تنشيط أكسدة النتروجين العضوى، والكبريت العضوى، وكبرتيد الحديد.

وعلى العكس، يمكن أن تتم معادلة الحموضة فى البحيرات والجداول عن طريق مياه الأمطار السارية والمياه الراشحة من مستجمعات الأمطار التى تسود فيها أراضى زراعية تم تحسينها بإضافة الجير. ومع ذلك، إذا سُمِّدت الأراضى الزراعية بأسمدة النتروجين الأمونيومية ولم تُحسَّن بالجير بكفاءة، يمكنها أيضًا أن تساهم فى تحميض المياه العذبة. فعلى سبيل المثال، مطلوب ٣٦٠ كجم جير للهكتار (فى صورة كربونات كالسيوم) لمعادلة الحموضة الناتجة من ١٠٠ كجم نتروجين للهكتار فى صورة يوريا، ويلزم فقط ٥٠ كجم للهكتار لمعادلة حموضة ١٠٠سم من المطر لها رقم حموضة ٤. ويمكن أن تؤثر عوامل أخرى فى تحميض المياه العذبة، وتشمل هذه العوامل شدة أو كثافة المطر الساقط وطول مدة سقوطه، والطبوغرافيا، والهيدروجيولوجيا، وجميعها تعمل لتحديد اتجاه ومعدل انسياب المياه (ومعها المركبات الحامضية) خلال الأراضى ومادة الأصل إلى المياه العذبة.

ويظهر عدد من المشاكل البيئية عندما يحدث تحميض للمياه العذبة ويصبح لها رقم حموضة أقل من ٥٫٠، وبصفة خاصة أقل من ٤٫٠. ويشيع حدوث نقص فى التنوع البيولوجى (عدد الأصناف المختلفة الموجودة) والإنتاجية الأساسية (الأعداد الفعلية والكتلة الحيوية) للعوالق النباتية (نباتات مغمورة أو معلقة فى الماء) والعوالق الحيوانية، واللافقاريات القاعية. وبين الحين والآخر يُذكر نقص فى معدل التحلل البيولوجى للمادة العضوية، والذى يمكن أن يؤدى، فوق ذلك، إلى نقص فى إمداد العناصر الغذائية بسبب تباطؤ عملية المعدنة. وقد تتغير أيضا الجماعات الميكروبية، وتسود الطحالب على البكتريا. وتتمركز الآليات المفترضة لشرح هذه التغيرات البيئية حول الجهود أو الضغوط الفسيولوجية التى تنتج من تعرض الكائنات الحية لتركيزات أعلى للألومنيوم والمنجنيز، والهيدروجين، وكميات أقل للكالسيوم الميسر. وهناك آلية واحدة محددة مقترحة تشمل تعطيل امتصاص الأيون، وتفتيت قدرة النباتات على تنظيم تصدير واستيراد الصوديوم، والبوتاسيوم، والكالسيوم من الخلايا.

ويمكن أن يؤثر أيضًا الترسيب الحامضى على الأسماك، والبرمائيات، والثدييات. ويوجد دليل واسع الانتشار لذلك وهو هبوط تعداد الأسماك فى البحيرات التى حدث لها تحميض، وموت الأسماك تحت ظروف شديدة الحموضة. وبصفة عامة،

جدول ١٠ – ٥ الخواص الكيميائية للمياه فى كل من الترسيب الجوى، المطر الساقط تحت ظلة الغابة ، الغسيل ، الجداول لاثنين من مستجمعات الأمطار فى أوروبا.

وصف المستجمع	pH	H^+	Ca^{2+}	SO_4^{2+} الكلية	Al (ميكروجم/ لتر)	
					الكلى	الذائب
مستجمع Loch Chon فى اسكتلندا						
يتعرض لترسيب حامضى شديد ؛ يتم معادلة مياه الأمطارجزئيا بواسطة الكساء الخضرى وقطاع الأراضى ؛ يتأثر الراشح بشدة بواسطة جيولوجيا الموقع الغنية بالكالسيوم ؛ مياه الجداول مناسبة للأسماك.						
مليمكافئ / م٢ / سنة						
المدخلات:						
فوق ظلّة الغابة.	—	٤٨	—	١٣٢	—	—
تحت ظلّة الغابة.	—	٢٤	—	١٣٨	—	—
مليمكافئ / م٢ / سنة						
التركيز فى مياه:						
الترسيب الجوى.	٤ر٥	٢٩	١١	٥٣	—	—
تحت ظلة الغابة.	٤ر٨	١٥	٥٠	٩٢	—	—
الراشح من أفقO.	٤ر٢	٦٨	—	١٢٢	—	—
الراشح من أفقBC.	٤ر٤	٣٧	—	٨٩	—	—
الجداول.	٥ر١	٨	٧٢	٩٣	١٢٩	٤٧

تابع جدول ١٠ – ٥.

مستجمع Kelty فى اسكتلندا

مدخلات كبيرة للكبريتات والترسيب الحامضى ؛ تساهم ظلّة الغابة من أشجار الصنوبر فى التحميض ؛ يحدث امتصاص مرتفع للكبريتات بواسطة الأشجار ؛ فعل تنظيمى بسيط ضد الحموضة بواسطة الأرضى والمواد الجيولوجية ؛ كثير من الجداول غير مناسبة للأسماك.

ملليمكافئ / م٢ / سنة

المدخلات:

فوق ظلة الغابة.	—	٧٢	—	١٤٠	—	—
تحت ظلة الغابة.	—	٨٠	—	٢٣٠	—	—

ميكرومكافئ / لتر

التركيز فى مياه:

الترسيب الجوى.	٤ر٥	٢٩	١١	٥٣	—	—
تحت ظلة الغابة.	٤ر٢	٥٧	٤٥	١٦٤	—	—
الراشح من أفقO.	٤ر٠	١٠٠	—	١١٥	—	—
الراشح من أفقBC.	٤ر١	٨٠	—	٧٣	—	—
الجداول.	٤ر٥	٣٤	٤٨	٩٣	٤٠	٦٢

(Mason , 1992.)

لو يظل رقم حموضة المياه أعلى من ٥٫٠ تنتج مشاكل قليلة، ومن ٤٫٠ إلى ٥٫٠ تتأثر أسماك كثيرة، وتحت ٣٫٥ يحيا سمك قليل. ويعدّ السبب الرئيسى المباشر لذلك هو التأثير السام المباشر للألومنيوم والذى يتداخل مع الدور الذى يلعبه الكالسيوم فى المحافظة على نفاذية الخياشيم، ومن ثمّ فى التنفس ، ويمكن أن تكون سمية الألومنيوم مشكلة خطيرة، ويمكن أن تؤدى إلى موت معظم الأسماك تحت أى ظروف مناخية مثل الأمطار الغزيرة أو الذوبان السريع للجليد (حيث يُعجّل بدرجة كبيرة من سريان المياه إلى الجدول أو البحيرة). ولقد تم إيضاح أن الكالسيوم يخفف تأثيرات الألومنيوم، ولكن فى بحيرات حامضية كثيرة كانت مستويات الكالسيوم غير كافية للتغلب على سمية الألومنيوم. وتفسد أرقام الحموضة المنخفضة حالة الصوديوم لبلازما الدم فى الأسماك. وتحت الظروف الحامضية جداً فإن تدفق أيونات الهيدروجين فى خلايا غشاء الخياشيم يُنشّط زيادة تدفق الصوديوم للخارج (أى خروجه) ويقلل فى نفس الوقت تدفقه إلى داخل الخلايا من المياه الخارجية. ويمكن أن يسبب الفقد الزائد للصوديوم موت الأسماك. وهناك تأثيرات أخرى غير مباشرة للتحميض على حياة الأسماك، وتشمل نقص معدلات التكاثر، وارتفاع معدل الموت المبكر فى الحياة أو فى أطوار التكاثر للأسماك البالغة، وهجرة الأسماك البالغة بعيدا عن المناطق الحامضية. وتتأثر البرمائيات كذلك بنفس الطريقة مثل الأسماك، بالرغم أنها أقل حساسية نوعًا ما لسمية الألومنيوم ، وغالبا يكون للطيور والثدييات الصغيرة أعداد أقل ومعدلات تكاثر أقل فى المناطق المجاورة للمياه العذبة التى تأثرت بالتحميض ، ويمكن أن يعزى هذا إلى النقص فى غذاء هذه الطيور والثدييات الصغيرة الذى سببه الأعداد الأقل للأسماك والحشرات أو إلى الضغوط الفسيولوجية التى يسببها استهلاك الكائنات لتركيزات عالية من الألومنيوم.

١٠ – ٢ – ٦ تصحيح تأثيرات الترسيب الحامضى:

يعتبر تصحيح التدمير البيئى الراجع للترسيب الحامضى صعبًا ومكلفاً بدرجة كبيرة. وعلى المدى الطويل، فإنه يمكن إنجاز تصحيح هذه التأثيرات فقط عن طريق

تخفيض انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين. وتشمل بعض الأساليب لتحقيق ذلك منها:

(١) حرق وقود حجرى أقل.

(٢) استخدام مصادر طاقة أنظف (مثل الفحم المحتوى على نسبة كبريت أقل، أو الرياح ونظم الطاقة الشمسية).

(٣) تصميم «أجهزة غسيل للغازات» "Scrubbers" أكثر كفاءة وذلك لتقليل كمية هذه الغازات المنبعثة من المؤسسات العامة، والصناعات، والمركبات. وهناك اجماع فى المجتمع العلمى على أنه سوف يؤدى تخفيض الانبعاثات إلى تحسينات بطيئة محتملة فى النظم البيئية التى تأثرت بالتحميض، وخصوصاً فى المياه العذبة. وفى الوقت الحالى، وبالرغم من الإدانة القوية لمعظم الدول لكى تخفض الترسيب الحامضى، يبدو أن التكاليف المذهلة لمثل هذه الأفعال سوف تؤخر تنفيذ هذا الأسلوب لسنوات كثيرة. ولقد قدر الكونجرس الأمريكى أنه لكى تنخفض انبعاثات ثانى أكسيد الكبريت فقط بمقدار ٩ مليون طن مترى سوف تكلف أكثر من ٣٫٦ بليون دولار على مدى خمس سنوات، كما قدرت وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة أن تكاليف ٢٠ سنة يمكن أن تزيد عن ٣٣ بليون دولار.

وتُعدّ الأعمال العلاجية للترسيب الحامضى على المدى القصير ميسرة وناجحة فى بعض النظم البيئية ؛ فإضافة الجير للبحيرات وبعض الغابات يتم تطبيقه فى الدول الأوروبية لأكثر من ٥٠ عاما، ويطبق حاليا فى مناطق أخرى كثيرة فى العالم. ولقد تم تجيير مئات البحيرات فى السويد والنرويج (أى تم تحسينها بإضافة الجير إليها) بنجاح فى العشرين سنة الماضية. وتعتمد فعالية الجير أساساً على زمن بقاء المياه فى البحيرة ؛ فالبحيرات التى تبقى فيها المياه فترة قصيرة قد يلزمها إضافة جير مرة واحدة أو مرتين فى السنة؛ بينما البحيرات الأخرى يلزمها التجيير (إضافة الجير) كل ٥ – ١٠ سنوات. وعلى سبيل المثال، أضيف الجير إلى ١٠ بحيرات صغيرة فى Adi-randack فى الفترة ١٩٨٣ – ١٩٨٤، وازدادت نسبة حياة سمك السلمون فى الجدول من ١٠٪ عند رقم حموضة ٤٫٥ إلى ٦٠ – ٨٠٪ عند رقم حموضة ٥٫٥ إلى ٦٫٥ بحلول عام ١٩٨٦؛ ورغما عن ذلك، فإن ثلاث بحيرات حدث لها تحميض مرة أخرى

وبدرجة كبيرة سببت نقصاً فى أعداد الأسماك. وتعتبر منطقية إضافة الجير للبحيرات مرعبة ؛ فالإضافة الجوية للجير بواسطة الطائرات والهليوكربتر غالبا مطلوبة، ومن هنا فإن تكاليف الإضافة تزيد بكثير عن تكلفة المواد الجيرية. وقد يكون لإضافة الجير (التجيير) بعض التأثيرات السلبية أيضاً. وتتكيف أغلب الحياة النباتية فى المناطق المزروعة غابات مع الأراضى الحامضية؛ وقد يُغيّر التجيير (أو التجيير الزائد) توزيع الأنواع فى هذه النظم البيئية بطريقة لا يمكن التنبؤ بها وربما تكون غير مرغوبة.

المراجع :

Bird, E. and Strange, M., Mares' Tails and Mackeral Scales, Center for Rural Affairs, Walthill, NE, 1992.

Burke, L. M. and Lashof, D. A., Greenhouse gas emissions related to agricultural and landuse practices, Impact of carbon dioxide, trace gases, and climate change on global agriculture, in Kimball, B. A., Ed., ASA Special Publication No. 53, American Society of Agronomy, Madison, WI, 1990.

Charles, D. F., Ed., Acidic Deposition and Aquatic Ecosytems, Springer - Verlag, New York, 1991.

Council on Environmental Quality, Environmental Quality, 18 th and 19 th annual report, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1988.

Earthquest, Atmospheric Trace Gases That Are Radiatively Active and of Significance to Global Change, Vol. 4, No. 2, Office for Interdisciplinary Earth Studies, Boulder, CO, 1990, 10.

Krug, E. C. and Frink, C. R., Effects of acid rain on soil and water, Bulletin 811, Connecticut Agricultural Experimental Station, New Haven, CT, 1983.

Lashof, D. A. and Tirpak, D. A., Policy Options for Stabilizing Global Climate, Draft report to Congress U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning, and Evaluation, Washington, D.C., 1989.

Marion, G. M., Hendricks, D. M., Dutt, G. R., and Fuller, W. H., Aluminum and silica solubility in soils, Soil Sci., 121, 76, 1976.

Mason, B. J., Acid Rain: Its Causes and Effects on Inland Waters. Oxford University Press, New York, 1992.

MacCracken, M. C. and Luther, F. M., Ed., Proyecting the climatic effects of increasing carbon dioxide (1985), DOE/ER - 0237, U.S. Department of Energy, Washington D.D., 1985.

Moore, B., Presentation to the Global Warming Round Table, sponsored by the U.S. Department of Energy, Washington D.C., 1988.

U.S. Environmental Protection Agency, Acid Rain, EPA - 600 - 79 - 036, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1980.

U.S Environmental Protection Agency, Environmental Progress and Challenges: EPAs Update, EPA - 230 - 07 - 88 - 033, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1988.

White, R. M., The great climate debate, Sci. Am., 263, 36, 1990.

World Resources Institute, World Resources, 1988 - 1989. Basic Books, New York, 1988.

Wuebbles, D. J., and Edwards, J., Primer on Greenhouse Gases, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1991.

مراجع مساعدة :

Conservation Foundation, State of the Environment: A View Toward the Nineties, Conservation Foundation, Washington, D.C., 1987.

Kamari, J., Impact Models to Assess Regional Acidification, Kluwer Academic Publishers, London, 1990.

Kennedy, I. R., Acid Soil and Acid Rain, John Wiley & Sons, New York, 1992.

Linthurst, R. A., Direct and Indirect Effects of Acidic Deposition on Vegetation, Butterworth Publishers, Stoneham, MA, 1984.

Reuss, J. O. and Johnson, D. W., Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters, Springer - Verlag, New York, 1986.

الفصل الحادى عشر

تقويم الخطر

يُعرّف **الخطر** بأنه احتمال أو فرصة حدوث ضرر **Injury**، أو خسارة **Loss**، أو تدمير **Damage**، وهذا هو التعريف الأكثر عمومية للخطر، والذى يشمل أنواعه المختلفة مثل الخسائر المالية، أو تدمير المبانى أوالمنشآت بسبب العواصف، أو التأثيرات على صحة الإنسان بسبب التعرض إلى الملوثات. وهناك خطر يتعرض له الإنسان والكائنات الأخرى مرتبط بتركيز الملوثات والمواد الأخرى فى الأراضى ، ويلخص هذا الفصل المفاهيم الأساسية التى تستخدم فى تقويم الخطر، كما يوضح كيف تتم الإفادة من عملية تقويم الخطر فى كتابة التشريعات البيئية مع التركيز على الأراضى.

ويشمل تعريفنا للخطر التأثيرات الواقعة على أى كائن حى بالرغم من تركيز المناقشة على التأثيرات الواقعة على صحة الإنسان، ويعتبر أهم تأثيرين يؤثران على صحة الإنسان أو أى كائن حى آخر هما: نسبة انتشار المرض ونسبة الموت العاجل والآجل. ويتم التعبير عن الخطر بالنسبة للكائنات بطريقة نموذجية على أنه عدد المخرجات السلبية (ضرر، أو خسائر، أوتدمير) مقسومة على عدد الكائنات المعرضة لهذا الخطر. وهناك وحدات أخرى تُعرّف التعرض للخطر، وهى غالبًا مرتبطة بالخطر؛ فعلى سبيل المثال، الزيادة فى معدل السرطان لحالة واحدة فى المليون شخص قد تنشأ بعد أن يتعرض المرء طول حياته لمادة مسببة للسرطان؛ أما عن الزيادة فى ضحايا المرور فقد ترتبط بعدد الأميال المقطوعة. ويوفر جدول ١١– ١ معلومات عن الخطر لعدد من أسباب الوفاة. وقد تم حساب الخطر الذى يتعرض له الفرد سنويًا عن طريق قسمة عدد الوفيات فى السنة لكل سبب من أسباب الوفاة فى عام ١٩٨٨ على تعداد سكان الولايات المتحدة (تقريبا ٢٥٠ مليون). وهذا يفترض أن جميع أعداد السكان معرضة

جدول ١١ - ١ الخطر الذى يتعرض له الفرد سنويا لأسباب الوفاة المختلفة اعتماداً على بيانات عام ١٩٨٨.

أسباب الوفاة	الخطر الذى يتعرض له الفرد سنويا	النسبة*
أمراض القلب.	$٣,١١ \times ١٠^{-٣}$	٣٢١
السرطان.	$١,٩٧ \times ١٠^{-٣}$	٥٠٧
حوادث المرور.	١.٩٢×١٠^{-٤}	٥٢٠٦
الداء السكرى.	$١,٦٥ \times ١٠^{-٤}$	٦٠٧٠
الانتحار.	$١,٢٢ \times ١٠^{-٤}$	٨٢٢٢
القتل بسلاح نارى.	$٥,٤٦ \times ١٠^{-٥}$	١٨٣٢٢
السقوط العرضى.	$٤,٨٤ \times ١٠^{-٥}$	٢٠٦٦٨
الغرق.	$١,٦٨ \times ١٠^{-٥}$	٥٩٥٣٨
أجسام غريبة أو طعام فى الجهاز التنفسى.	$١,٥٢ \times ١٠^{-٥}$	٦٥٧٠٣
عمليات جراحية أو علاجية.	$١,٠١ \times ١٠^{-٥}$	٩٨٨٥٣
الإعدام بالكهرباء.	$٢,٨٦ \times ١٠^{-٦}$	٣٥٠١٤٠
حوادث الطيران التجارى.	$١,٩٣ \times ١٠^{-٦}$	٥١٣٢٤٧
البرق.	$٣,٢٨ \times ١٠^{-٧}$	٣٠٤٨٧٨٠

* حالة وفاة واحدة لكل عدد من الناس من إجمالى السكان.

لكل أنواع الخطر، وهذا، بالطبع، ليس صحيحًا بصفة دائمة. وبعبارة أخرى، يعتبر **السكان المعرضون** للخطر مجموعة فرعية من **إجمالى السكان**. وهناك أفراد آخرون غير معرضين لهذه الأخطار، وليس كل شخص يقود سيارة، أو يركب مركبة، أو ينتقل انتقالاً محدوداً بالطيران التجارى - معرضًا لهذه الأخطار. ويصير الافتراض صحيحًا بالنسبة للمسببات الأخرى مثل: الإعدام بالكهرباء، وحوادث السقوط العرضية أو وفيات الداء السكرى، حيث يكون كل شخص معرضًا للخطر بدرجة محدودة. ومع ذلك، فإن مثل هذه الحسابات البسيطة تسمح للناس أن يقدّروا القيمة النسبية لخطر الموت بالأسباب المختلفة.

وهناك عدد من الاستجابات يستطيع الناس القيام بها لدرء الخطر؛ فيمكن درء الخطر أو القضاء عليه، كماهو الحال بالنسبة لمركبات الكلورفلوروكربون التى تستخدم كمواد دافعة فى علب الإيروسول، أو مركبات د.د.ت، وذلك لأن بدائلها ميسرة. ويمكن تنظيم سبب الخطر أو تعديله لتقليل تكرار المخرجات السالبة أو كميتها. ومن الأمثلة على ذلك: بناء إنشاءات تقاوم الفيضان، والحد من كمية المادة التى يمكن أن تضاف إلى الأراضى (مثل النتروجين والعناصر النادرة). هذا، ويمكن الحد من قابلية السكان المعرضين للخطر. وفى هذه الحالة، فإن أسباب الخطر تظل كماهى نفسها لم تتغير، غير أن الناس الذين يحتمل تأثرهم بالخطر قد يتلقون تحذيرات مسبقة أو تعليمات تساعدهم وتجعلهم قادرين على تقليل خسائرهم، كما أن هناك استراتيجيات عديدة تستخدم غالبًا بعد وقوع الحوادث. فاستجابة لحوادث المرور مثلا، يمكن تقديم خدمات أفضل عن طريق سيارات الإسعاف ، وهو مايزيد فرص البقاء على قيد الحياة بعد الحوادث؛ غير أن مثل هذه الخدمات لا تقلل فرصة الوقوع فى الحوادث، كما يساهم التأمين أيضًا فى توفير التعويضات النقدية للخسائر المالية.

وتقويم الخطر عبارة عن عملية نحاول بها تحديد احتمال الضرر وحجمه، أو تحديد الخسائر، أو الدمار الذى قد ينتج من الضرر الصحى. **وإدارة الخطر** عملية عن طريقها نضع فى الحسبان تشعب نتائج تقويم الخطر: الاقتصادية، والسياسية، والقانونية، والأخلاقية. ويعتمد اتخاذ القرارات التشريعية (القوانين) على كل من عمليتى تقويم الخطر وإدارة الخطر.

وهناك سببان رئيسيان لاهتمامنا بتقويم الخطر من ملوثات التربة. الأول: يعتم على أنه فى حالة ما إذا كان هناك تركيز مادة مافى التربة يزداد ببطء ويتعمد؛ فهل أ كائن حى سوف يتعرض لهذه الزيادة غير المقبولة فى الخطر؟ الثانى: ما الأخطا المتزايدة (أى المضاعفات) التى يمكن أن نعرفها عن طريق الكائنات، والناتجة عن تلو التربة الذى حدث بالفعل. ونعيد إلى الأذهان من شكل ٣ - ١ أن هناك طرقًا مباشر وطرقًا غير مباشرة تتعرض فيها الكائنات للمواد الضارة الموجودة فى الأراضى. وبنا على ذلك، يمكن حدوث زيادة الخطر بطريقة مباشرة نتيجة ابتلاع التربة نفسها (ع طريق الأطفال أو عن طريق رعى الماشية على سبيل المثال)، أو تحدث زيادة الخط بطريقة غير مباشرة نتيجة استهلاك المياه الجوفية التى تلوثت بفعل مادة تسربت إليه بالرشح من خلال التربة أو نتيجة استهلاك المحاصيل المزروعة فى أرض ملوثة.

١١ - ٢ الوعى بالخطر:

لا تكتمل مناقشة تقويم الخطر بدون الاهتمام بوعى الجمهور بهذا الخطر مقارن بالوعى لدى المجتمعات العلمية، ومما لاشك فيه أن الوعى بالخطر عند الفريقين (فري الجمهور. الفرق العلمية) مختلف تمامًا، كما يستجيب لعوامل مختلفة. ولقد أظهر الدراسات أن الناس يشعرون بصفة عامة أنهم يواجهون أخطاراً اليوم أكثر من أ وقت مضى. هذا بالرغم من الحقيقة التى تعنى أن متوسط العمر قد ازداد فى الأزمن الحديثة. دعنا ندرس أولا الوعى بالخطر عند الجمهور.

بات من المعروف جيداً أن عامة الناس يبالغون فى تقدير تكرار الأسباب النادر للموت، **ويستخفِّون** بتكرار مسببات الوفاة الشائعة، كما هو موضح فى جدول ١١ - ٢ فيموت عدد أقل من الناس نتيجة الإعصار، أو الفيضانات، أو الحمل، أو التسم مقارنة بالأعداد المقدرة بواسطة الجمهور؛ فالرقم الفعلى للوفيات كل سنة لأى من هذ الأسباب أقل من ١٠٠٠، كما يموت عدد كبير جدا من الناس بسبب مرض الربو

وسرطان المعدة، ومرض السكر، والسكتة الدماغية أكثر من الأعداد المقدرة بواسطة الجمهور؛ فيموت على سبيل المثال أكثر من ١٠٠٠٠٠ شخص سنويًا بسبب السكتة الدماغية. وتوضح هذه المعلومات أن الإلمام بمسببات الوفاة يحرك فينا نزعة الوعى بالخطر. وتُعدُّ الوفاة نتيجة التسمم شيئًا غير مألوف، ولذلك من المحتمل أن تذاع أو تنشر فى نشرة الأخبار عبر وسائل الإعلام. وطالما أن الناس لم تتعود على التسمم كسبب للوفاة ؛ فجدير بالإشارة أن حالات الوفاة سوف ترفع وعيهم بالمسبب، وتجعلهم يدركون أن التسمم شائع الحدوث أكثر مما هو عليه فعلاً. وتعتبر الوفاة الناتجة عن السكتة الدماغية أمرًا لا يستحق الإشارة إليه، وبمرور الزمن فإن حذر الناس من قدرة هذا السبب على الوفاة قد يقل.

ويوضح جدول ١١ - ٣ العوامل الأخرى التى توثر فى وعى الجمهور بالخطر، وتشمل عملية الوعى بواسطة الجمهور عاملين أساسيين هما: **الرعب والمعرفة** (سواءً كان الخطر معروفًا أو غير معروف). والرعب هو خوف مكثف من شىء مايمكن أن يحدث. فأية حادثة أو أى نشاط مايسبب رعباً ويكون غير معروف نسبيا، سوف يحسبه الناس الأكثر خطراً من غيره، بينما أية حادثة أو أى نشاط مايكون مألوفًا ولا يسبب رعبا سوف يعتبره الناس الأقل خطراً. وبمزيد من الإيضاح، فإن كثيرا من الحوادث، أو الأنشطة تقع فى درجة متوسطة تقريبًا فى كونها قد تسبب رعبًا مع أنها مألوفة لنا أوالعكس بالعكس، وحتى عندما يتم مباشرة الخطر عن طيب خاطر (أى اختياريا) فهو أيضا مسألة جديرة بالاهتمام؛ فالشخص الذى يدخن سيجارة يصبح معرضًا لخطرالتدخين بدرجة أكبر جداً من الأشخاص غير المدخنين الخاضعين للتدخين السلبى، ومع ذلك فإن غير المدخنين سيعترضون على الخطر الناجم من التدخين أكبر من اعتراض المدخنين أنفسهم. ومخطط التصنيف الموضح فى جدول ١١ - ٣ يكشف الهوية عن كثير من الاعتبارات المهمة عندما يعي الناس العاديون الخطر، ويسمح للمرء أن يتنبأ نوعيًا بكيفية وعى الجمهور بنوع جديد من الخطر.

جدول ١١ - ٢ تكرار الوفاة التى يبالغ عامة الناس فى تقديرها أو يعطوها أرقاما أقل من الواقع.

المبالغ فى تقديرها	ذات التقدير الأقل
الأعاصير.	الربو
الفيضانات.	سرطان المعدة
الحمل.	مرض السكر
التسمم.	السكتة الدماغية

(Slovik et al., 1979.)

وتعتبر التقارير المقدمة عن الحوادث أو التى تعمل كأنها إشارات منبهة للخطر عاملاً إضافياً يساعد فى شرح الاختلافات فى وعى الجمهور بالخطر عبرالزمن، وهذا يعنى ببساطة أن وعى الجمهور بالخطر - مهما كان صغيرا - يزداد كثيرا عن طريق حادثة أو واقعة كبيرة. ولقد جعلت الحادثتان النوويتان فى تشرنوبيل وجزيرة الأميال الثلاثة وعى الجماهير بأخطار الطاقة النووية يزداد بطريقة مثيرة، وقد لعب هذا الوعى الجماهيرى دوراً رئيسياً فى إبطاء أو إيقاف الاستخدام المتزايد للطاقة النووية فى الولايات المتحدة. وأدى القلق من تلوث شاطئ التايمز فى ميسورى **Missouri** بواسطة الديوكسين إلى زيادة الوعى الجماهيرى بأخطار الديوكسين، كما أدى اكتشاف شحنتين مسممتين من العنب المستورد من شيلى إلى مضاعفة الاهتمام بسلامة الغذاء عموماً. وقد أدى التقدم التكنولوجى إلى زيادة الوعى بالخطر لدى الجمهور، فى حين أن الجمهور فى نفس الوقت يعقد الأمل على التقدم التكنولوجى للخلاص والنجاة من الخطر. ويمثل هذا انقساماً ثنائياً فى أهداف أساليب التقدم التكنولوجى.

ويسبب وعى الجمهور بالخطر بعض الارتباك للوكالات التشريعية للبيئة. وفى حين أن هذه الوكالات عبارة عن وكالات جماهيرية قامت خصيصا لتلبية احتياجات

جدول ١١ - ٢ العوامل المرتبطة بوعى الجمهور بالخطر.

عاملي الوعى بالخطر	عوامل ثانوية للوعى المرتفع بالخطر أو المنخفض		أمثلة من داخل العوامل	
	المرتفع	المنخفض	الوعى المرتفع	الوعى المنخفض
الرعب	غير ممكن التحكم فيه. فاجع على نطاق العالم. نتائجه مميتة (كارثة). غير متساو. اجبارى.	يمكن التحكم فيه. فاجع ولكن ليس على نطاق العالم. نتائجه ليست كارثة. متساو. اختيارى.	حادثة مفاعل نووى. حوادث غاز الأعصاب. الأسلحة (الحرب) النووية. —— ——	استهلاك الكافيين. استهلاك الأسبرين آلات الحصاد الكهربائية. —— ——
المعرفة	التأثيرات غير ملاحظة. غير معروف للمعرضين. التأثير متأخر.	التأثيرات يمكن ملاحظتها. معروف للمعرضين. التأثيرفى الحال.	المجالات الكهربائية. تقنية DNA. أسمدة النتروجين.	حوادث السيارات. حوادث الكحول. الأسلحة النارية الخفيفة.

(Slovic, 1987.)

الجمهور واهتماماته، غير أنها لا تستطيع أن تبرر عدم كفاية وسائل الحماية من الأخطار التى يُساء فهمها أى التى يعيها الجمهور على أنها أسوأ كثيراً عماهى عليه بالفعل.

١١ - ٣ التسرطن/ السرطنة:

تتأثر الطرق المتبعة لتقويم الخطر فى حالة اذا ماكانت المادة المستخدمة تسبب السرطان أى مسرطنة. وقد قامت وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة بإعداد مشروع تصنيف للمواد المسببة للسرطان معتمدة على أدلة مستمدة من الإنسان والحيوانات، وهذا المشروع موضح فى جدول ١١ - ٤. والمواد التى فى المجموعة A معروف أنها تسبب سرطاناً للإنسان (مثل، الرادون، كلوريد الفينيل)، وتشير المجموعة B إلى مواد يحتمل أن Probable تسبب سرطانا للإنسان، وتشير المجموعة C إلى مواد يمكن أن Possible تسبب السرطان للإنسان، كما تشير المجموعة D إلى مواد لم يتم تصنيفها بسبب عدم كفاية البيانات، والمجموعة E تشير إلى مواد لايوجد دليل على أنها تسبب السرطان أى أنها غير مسرطنة. ولأغراض تشريعية، يتم دمج المجموعتين A + B ويسمى الناتج فئة I، وتسمى المجموعة C فئة II، وتجمع المجموعتان D + E ويسمى الناتج فئة III.

وكمثال عن كيفية تأثير هذا التصنيف فى عملية التشريع هو أن المرء يستطيع أن يستخدم أهداف الحد الأقصى للملوث (MCLG) بالنسبة لمياه الشرب. ويعبر MCLG عن التركيز الأقصى المرغوب للمادة فى مياه الشرب آخذا فى الاعتبار جميع التأثيرات الضارة المحتملة من المادة. وتساوى قيمة MCLG لأى مادة فى الفئة I صفراً، بينما تلك القيم لمواد الفئة II والفئة III لا تساوى صفراً، محسوبة بطرق مختلفة. وإن تركيز صفر لا يمكن الحصول عليه، ويسمى المعيار الفعلى فى مياه الشرب بالحد الأقصى للملوث (MCL). وتتطلب التشريعات أن يكون الحد الأقصى للملوث MCL قريباً جداً من أهدافه MCLG بقدر الإمكان مع أفضل تقنية ميسرة لإزالة المادة من المياه.

ومن الواضح، أن هذه العملية تميل إلى أن تضغط الحد الأقصى للملوث MCL ليكون مقداره لمواد الفئة I أقل من مقداره لمواد الفئة II أو الفئة III.

١١ – ٤ تقويم الخطر:

تتكون العملية العامة لتقويم الخطر من واحد على الأقل أو أكثر من الخطوات التالية:

(١) تحديد الخطر.

(٢) تقويم التعرض للخطر.

جدول ١١ – ٤ تصنيف المواد المسببة للسرطان بالاعتماد على أدلة مستمدة من الإنسان والحيوانات.

دليل بشرى	دليل من الحيوانات				
	كاف	محدود	غير كاف	لاتوجد بيانات	لايوجد دليل
كاف.	A	A	A	A	A
محدود.	B1	B1	B1	B1	B1
غير كاف.	B2	C	D	D	D
لا توجد بيانات.	B2	C	D	D	E
لا يوجد دليل.	B2	C	D	D	E

المجموعة A معروف أنها تسبب سرطاناً للإنسان ؛ المجموعة B1 مواد يحتمل أن تسبب سرطاناً للإنسان اعتماداً على أدلة تسرطن محدودة من دراسات علم الأوبئة البشرية ، المجموعة B2 مواد يحتمل أن تسبب سرطاناً للإنسان اعتماداً على أدلة تسرطن كافية من دراسات على الحيوانات ؛ المجموعة C مواد يمكن أن تسبب السرطان للإنسان ؛ المجموعة D مواد لم يتم تصنيفها بسبب عدم كفاية البيانات ، المجموعة E مواد لا يوجد دليل على أنها تسبب السرطان.

(٣) تقويم الاستجابة للجرعة.

(٤) توصيف الخطر.

تحديد الخطر: هو التقدير الكمى للمادة الذى يُظهر أن التعرض لها قد يسبب ضرراً. وهناك طريق واحد لمعرفة المادة التى تسبب ضرراً، وذلك عن طريق دراسات علم الأوبئة، والتى أوضحت ارتفاع تكرار المرض فى المجموعة المعرضة بدرجة أعلى مقارنة بالمجموعة غير المعرضة لها. وتعتبر جميع المواد الجديدة خطرة بدرجة محدودة إلى أن يثبت غير ذلك. ويشار أحياناً إلى دمج تقويم التعرض للخطر، وتقويم الاستجابة للجرعة، وتوصيف الخطر بالتقدير الكمى للخطر.

١١ - ٤ - ١ تقويم التعرض للخطر:

تقويم التعرض هو العملية التى يتم بها تحديد هوية الكائنات المعرضة لملوث ما، وكذلك تحديد جميع وسائل التعرض الممكنة للملوث. ويتم أيضًا دراسة المشاركة النسبية لكل وسيلة من وسائل التعرض هذه فى مقدار الجرعة التى يتلقاها الكائن المستقبل للملوث. والجرعة هى كمية الملوث التى تم بلعها أو التى تم استنشاقها. وينبغى على المرء أن يهتم بمعرفة كيف يستقبل الكائن الحى جرعة استهلالية من الملوث «جرعة البداية»؛ فعلى سبيل المثال يمكن أن يستقبل الإنسان والحيوان جرعة ملوثة بطريق الاستنشاق، أو بتعرض الجلد للملوث، أو عن طريق ابتلاع الملوثات (شكل ٣ - ١). وعلى ذلك، فإن جودة الهواء، وفرصة تلامس الملوث مع الجلد، وإمكانية وصول الملوث للجهاز الهضمى ينبغى أن تؤخذ فى الاعتبار فى عملية تقويم التعرض للخطر. وتتعرض النباتات لطرق تلوث مشابهة. فتمتص النباتات العناصر الغذائية، والملوثات، والماء من التربة، كما أنها حساسة للتغيرات التى تحدث فى تركيب التربة. وتتنفس النباتات وتستجيب للتغيرات فى جودة الهواء، كما يمكن أيضا للنباتات أن تمتص المواد الملوثة من على السطوح الشمعية للأوراق، وهو يشبه مايتعرض له جلد الإنسان من تلوث؛ لذلك ينبغى أن يؤخذ فى الاعتبار الأتربة الساقطة وجودة كل من التربة والمياه التى تلامس الأوراق.

وهناك مثال ممتاز لتقويم التعرض بالنسبة للتلوث المحتمل للتربة تمّ عمله وهو خاص بتشريعات التخلص من الحمأة المصرح بها من وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة فى ديسمبر ١٩٩٢ ، وهذه التشريعات لها دلالات ضمنية بعيدة المدى، ولعلّ من بين فوائد تلك التشريعات هى حدود الكمية الكلية للعناصر النادرة التى يمكن أن تضاف إلى الأراضى عن طريق إضافة الحمأة للأراضى. ويوضح جدول ١١ - ٥ جميع مسارات التعرض المهمة فى عملية تقويم الخطر بالنسبة لهذه التشريعات. وفى حين أن هذه الطرق استخدمت بالتحديد فى دراسة إضافة الحمأة للأراضى؛ فبالمفهوم العام يمكن أن تكون هذه المسارات مناسبة لأى شىء تحتوى عليه الأراضى أو أى شىء يضاف إليها (مثل المبيدات، والمواد العضوية، والأسمدة). ويختلف بالطبع عدد أو أنواع هذه المسارات تبعًا لمصير العنصر وآليات انتقاله. ولكل مسار كائن ما يُعدّ نقطة نهاية، وتعتبر التأثيرات السلبية المحتملة على الكائن هى المقلقة والمهمة.

ولعل أحد خطوات تقويم التعرض بالنسبة لتشريعات الحمأة هو تحديد (أو كشف هوية) المسار الأكثر حساسية لكل عنصر نادر ، ويشير المسار الأكثر حساسية إلى المسار الذى يحدث فيه التأثير العكسى عند أقل تركيز لملوث التربة. وتشمل الأمثلة: المسار رقم ٧ بالنسبة للبورون، والزنك، والنحاس، والنيكل فى الأماكن التى تحدّ فيها السمية من نمو النبات قبل حدوث تأثيرات سلبية على الكائنات الأخرى ، ويعدّ المسار رقم ٢ بالنسبة للرصاص والفلورين فى الأماكن التى يسبب الاستهلاك المباشر للتربة أكبر المشكلات؛ وكذلك المسار رقم ٥ بالنسبة للموليبدنم والسلينيوم فى الأماكن التى تعانى فيها الحيوانات المجترة من التسمم بالموليبدنم أو السلينيوم؛ لأن امتصاص النبات لهذين العنصرين يحدث بدون أن تقوم النباتات بأنفسها بتجربة سميتهما، أوقبل أن تصبح الكائنات الأخرى فى خطر، والمسار رقم واحد بالنسبة للكادميوم فى الأماكن التى يمثل انتقاله فى السلسلة الغذائية إلى الإنسان أكبر مشكلة مزعجة. ويلعب مصير هذه العناصر النادرة وآليات انتقالها فى الأراضى دورًا واضحًا فى تقدير أى مسار أكثر حساسية تنتهى إليه هذه العناصر؛ فعلى سبيل المثال، يُدمص (يُمسك) الرصاص بواسطة الأراضى بقوة كبيرة وبدرجة تجعل امتصاصه بواسطة

النبات وبالتالى انتقاله فى السلسلة الغذائية إلى الإنسان والحيوان قليل الأهمية، ولكن الاستهلاك المباشر للتربة يعتبر مقلقا ومهما. ومن ناحية أخرى، يُمتص الكادميوم بسرعة وبسهولة بواسطة النباتات وينتقل بسهولة من التربة فى السلسلة الغذائية.

وأثناء تقدير المسار الأكثر حساسية للتلوث يتم أيضا تحديد **الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية** HEI، وهو الفرد الذى يحدث له أكبر ضرر عند التعرض لأقل جرعة من الملوث عندما تبلغ نسبة المعرضين للتلوث أكثر من ٩٥٪ من تعداد الأفراد. ويمثل الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية HEI قسمًا فرعيًا لكل مجموعة من الكائنات. وقد يكون الأساس فى تقسيم الكائنات هو الجنس، أو العمر، أو تدخين السجائر، أو التعود على نظام غذائى معين، أو مصادر الغذاء، أو منطقة الإقامة. ويبيّن جدول ١١ – ٥ الأفراد المعرضين للتلوث بدرجة عالية HEIs لكل مسار مستخدم فى تشريعات التخلص من الحمأة. وهناك أمثلة أخرى لهؤلاء الأفراد المعرضين للتلوث بدرجة عالية تشمل: الأطفال بالنسبة للنترات فى مياه الشرب، أوالطيور المفترسة أوالأفراد أصحاب نظام غذائى معين يشمل أساسًا الأسماك، أو من يتعرضون لمبيد د.د.ت. والافتراض الأساسى المسبق وراء مفهوم الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية HEI هو أنه لو تستطيع التشريعات أن تحمى الفرد الحساس والأكثر تعرضًا للتلوث فى المسار الأكثر حساسية، يلزم عن ذلك من باب أولى أن جميع الأفراد الآخرين حينئذ سيتم حمايتهم أيضا من التلوث. وفى الواقع العملى ، فإن الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية لايستخدم فى جميع حسابات تقويم الخطر. وعندما يستخدم الفرد المعرض للتلوث فى هذه الحسابات المشار إليها، فإن اختيار هذا الفرد المناسب يُعدّ عملية مهمة. ومن السهل وضع سيناريو يحدد مواصفات هذا الفرد HEI ؛ بحيث لا يوجد بين السكان أفراد تنطبق عليهم أوصاف هذا الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية. وعندما يحدث هذا ستصبح الحسابات لخطر لا يمكن أن يوجد، وتصبح النتائج وقائية أكثر مما ينبغى.

ولكى تقدّر نتائج تعرض الناس لنظام غذائى معين، ينبغى عمل تقدير دقيق للأغذية التى يستهلكونها. وهذا لايمكن انجازه إلا بدراسة جميع الأغذية. وتشمل هذه

جدول ١١- ٥ نماذج مسارات التعرض اللوث من إضافة حمأة المجارى للأراضى.

المسار*	وصف الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية (HEI)
١- الحمأة ← التربة ← النبات ←الإنسان.	انتقال فى السلسلة الغذائية ؛ ٥ر٢ ٪ من الأغذية التى أصلهانباتات تنتج من أراضى محسنة بالحمأة ؛ تعرض طول العمر.
F-١ : حمأة ← تربة ← نبات ← إنسان.	أرض صالحة للزراعة تحولت إلى حدائق منزلية للسكان بعد ٥ سنوات من بلوغ الحد الأقصى لإضافة الحمأة ، ٥٠٪ من الغذاء مصدره الحدائق ، تعرض طول العمر.
F-٢ : حمأة ← تربة ← إنسان (طفل).	أرض صالحة للزراعة تحولت إلى أغراض سكنية بعد ٥ سنوات من بلوغ الحد الأقصى لإضافة الحمأة مع أطفال يبتلعون التربة (٢٠٠ مجم / يوم) .
٣ - حمأة ← تربة ← نبات ← حيوان ← إنسان.	سكان المزرعة ، ٤٠٪ من اللحوم تنتج على أراضى محسنة بالحمأة ، تعرض طول العمر.
٤- S حمأة← حيوان ← إنسان.	سكان المزرعة ، ٤٠٪ من اللحوم تنتج على مراعى مرشوشة بالحمأة ، تعرض طول العمر.
٤- M : حمأة ← تربة← حيوان ← إنسان.	سكان مزرعة ، ٤٠٪ من اللحوم تنتج على أرض محسنة بالحمأة ، تعرض طول العمر، حيوانات تبتلع التربة أثناء الرعى.

٥: حماة ← تربة ← نبات ← حيوان.	حيوانات تتغذى على نباتات نامية فى أرض محسنة بالحماة.
٦-S : حماة ← حيوان.	رعى الحيوانات لمراعى مرشوشة بالحماة ، ٥ر١٪ حماة فى الغذاء.
٦- M : حماة ← تربة ← حيوان.	رعى حيوانات ، ٥ر٢٪ خليط من التربة والحماة فى الغذاء .
٧- حماة ← تربة ← نبات.	محاصيل نامية فى أرض محسنة بالحماة.
٨- حماة ← تربة ← كائنات.	كائنات حية تعيش فى تربة محسنة بالحماة.
٩- حماة ← تربة ← كائنات التربة ← مفترسات	الزبابات أو الطيور ،٣٣٪ من الغذاء عبارة عن ديدان أرض محسنة بالحماة.
٩-D: حماة ← تربة ← كائنات التربة ← مفترسات	الزبابات أو الطيور ، السكن فى تربة محسنة بالحماة.
١٠: حماة ← تربة ← أتربة فى الهواء ← إنسان.	عامل الجرار يتعرض للأتربة .
١١: حماة ← تربة ← مياه سطحية ← إنسان.	معايير جودة المياه.
١٢-A : حماة ← تربة ← هواء ← إنسان	سكان مزرعة يتنفسون أبخرة ملوثات متطايرة فى الحماة.
١٢- W: حماة ← تربة ← مياه جوفية ← إنسان.	- آبار المزرعة توفر ١٠٠٪ من المياه المستخدمة لحياة الأفراد.

(EPA, 1989; Ryan and Chaney, 1993; and Chanoy and Ryan, 1993.)

* F = المستقبل ، S = إضافة سطحية ، D = مباشرة ،
M = تم الخلط مع طبقة المحراث ، A = الهواء ، W = المياه.

الدراسة القيام بحصر المستهلكين لتحديد عدد وأنواع مجموعات الغذاء المختلفة التى تستهلكها فئات السكان المختلفة حسب الجنس والعمر. وإذا تغير تركيب واحدة أو أكثر من مجموعات الغذاء، حينئذ يمكن تقدير تأثير هذا التغير على السكان.

وهناك نتائج ميسرة أيضًا عن متوسط استهلاك المياه بواسطة الأطفال والبالغين. ويُفترض فى الغالب ٢ لتر فى اليوم للبالغين، بالرغم أن هذا الرقم على الأرجح مغالى فى حسابه بالنسبة لمعظم الأفراد. وتعتبر عوامل المغالاة فى التقدير (مثل استهلاك الماء أو الطعام) طريقًا آخر لتأسيس السلامة فى عملية تقويم الخطر. ولقد دُرس أيضا بكثافة موضوع ابتلاع الأطفال للتربة. فيستهلك معظم الأطفال (عمر ١ - ٦ سنة) أقل من ١ر٠ جرام تربة فى اليوم، ويساهم فيها الغبار من داخل المبانى، كما تساهم التربة من الخارج بمقدار يتراوح من صفر إلى ١٠٠٪. ومن ناحية أخرى، وجد أن بعض الأطفال المصابين بمرض البيكا (الوحم أوالرغبة فى ابتلاع أشياء غير الغذاء) يبتلعون أكثر من ٨ جرام تربة فى اليوم، وهذه نتائج متوسط قياسات لأكثر من عشرة أيام.

١١ - ٤ - ٢ تقويم الاستجابة للجرعة:

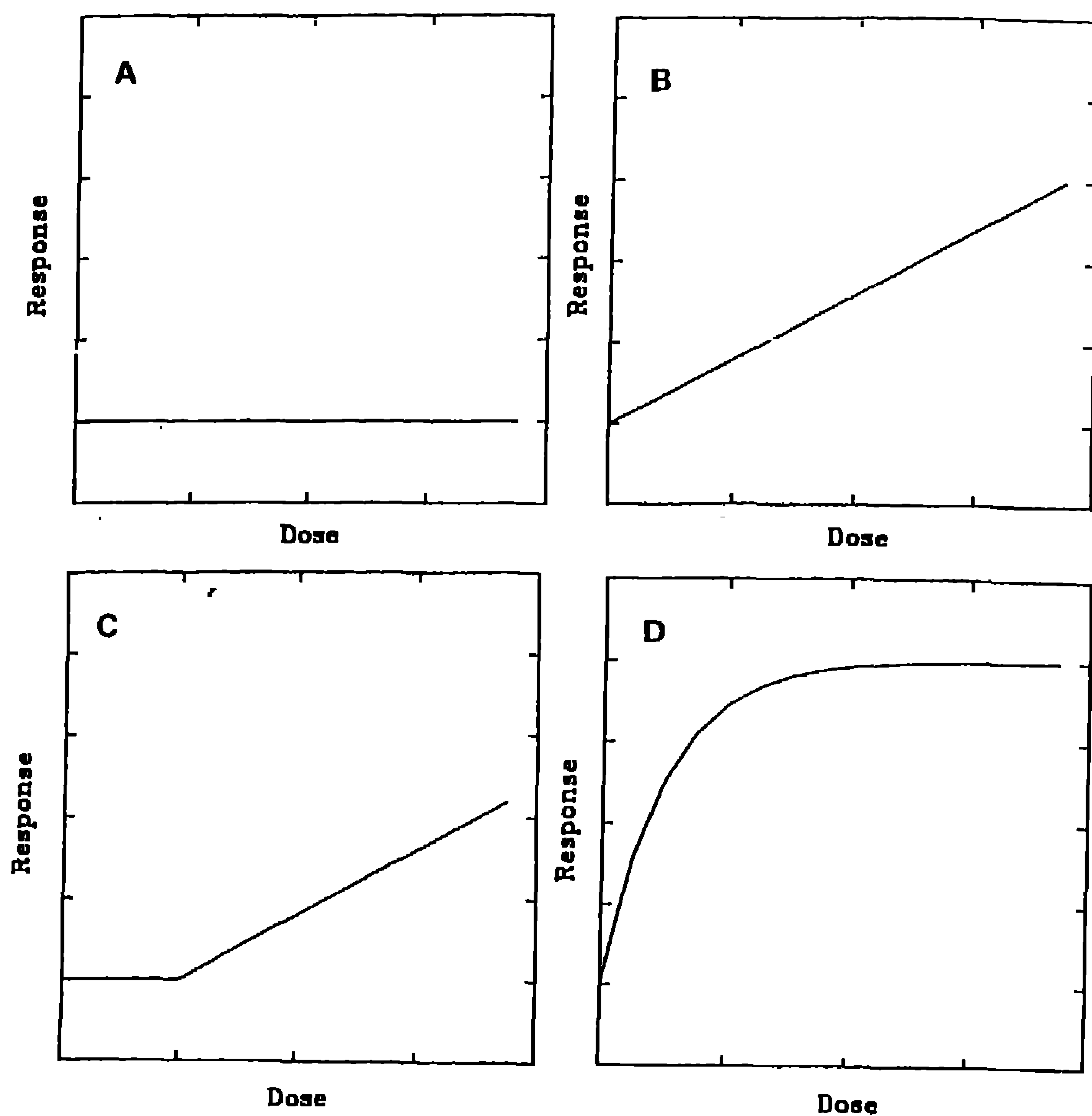
بصفة عامة، يعتمد تقويم الاستجابة للجرعة على العلاقة بين كمية المادة التى يستقبلها كائن ما (الجرعة) وتأثيراتها على ذلك الكائن (الاستجابة). ويمكن أن تكون الاستجابة مقبولة أو غير مقبولة. وفى عملية تقويم الخطر، فإن تقويم الاستجابة للجرعة قد تأخذ بيانات من تقويم التعرض، وتحدد التأثيرات على الكائنات المعرضة.

ويشكل منحنى الاستجابة للجرعة الأساس الفكرى لعملية تقويم الاستجابة للجرعة، وهذه المنحنيات يمكن أن تكون ذات أشكال عامة متنوعة، كما هو مبين فى شكل ١١ - ١ فالشكل ١١ - ١ (أ) يوضح عدم وجود استجابة للجرعة، والشكل ١١ - ١ (ب) عبارة عن استجابة خطية، والشكل ١١ - ١ (جـ) عبارة عن استجابة خطية مع

بداية فى شكل عتبة، والشكل ١١ - ١ (د) استجابة متقاربة فى شكل منحنى. لاحظ أن المنحنيات لا يجب أن تمر بنقطة الأصل، وهذا يوضح أن الاستجابة قد تحدث لدى السكان بدون تعرض للمادة محل السؤال. وبعبارة أخرى، قد يكون هناك عوامل أخرى تحفز الاستجابة بالإضافة إلى المادة المدروسة.

وهناك قيمة تحسب أحيانا من تجارب الاستجابة للجرعة وهى **حد التأثير العكسى غير الملاحظ** (NOAEL). وهو عبارة عن أعلى جرعة يمكن تقديمها بدون أن تُحدث زيادة معنوية إحصائيا فى الاستجابة العكسية. فعلى سبيل المثال يتنبأ المنحنى الخطى لاستجابة الجرعة بزيادة فى الاستجابة مع كل زيادة فى الجرعة، مهما كانت هذه الزيادة صغيرة. وبالرغم من ذلك، فإن الزيادة فى الاستجابة عندما تزداد الجرعة من الصفر يجب أن تكون كبيرة بدرجة كافية لكى تكون معنوية إحصائيا. ويعتبر حد التأثير العكسى غير الملاحظ NOAEL مقياسًا للمقدار الذى يجب أن تزداد به الجرعة قبل أن تحدث استجابة أو قبل أن يتخطى عتبة البداية. وتستخدم قيمته فى بعض حسابات تقويم الخطر.

ومهما تكن درجة الدقة فى تعريف حد التأثير العكسى غير الملاحظ NOAEL، فإن التجارب القليلة للاستجابة تستخدم بالفعل جرعات قريبة من قيمة حد التأثير العكسى غير الملاحظ NOAEL لدرجة أنه يمكن تقديره (NOAEL) بدرجة عالية من الثقة. وفى الحقيقة، تعتبر الجرعات المستخدمة فى تجارب الحيوانات أعلى بكثير عما يتوقع أن يستقبله الإنسان. والسبب الأساسى لهذا هو أن الزيادة فى الاستجابة المرئية عند الجرعات المنخفضة المتوقعة فى الإنسان صغيرة جداً لدرجة أنها تتطلب عدداً ضخماً من حيوانات المعمل يتم تعريضها لجرعات منخفضة على مدار فترات ممتدة من الزمن من أجل الحصول على نتائج معنوية إحصائيًا. وهكذا، فإن المشكلة الرئيسية فى تقويم الاستجابة للجرعة هى استقراء نتائج التجارب المتحصل عليها من الجرعات العالية المعطاة للأرانب فى المعمل بالنسبة للجرعات المنخفضة التى سوف تحدث فعلاً للإنسان. وقد تستخدم نماذج عديدة لهذا الاستقراء. وبصفة عامة، فقد تم افتراض



شـــكل ١١ - ١ الأشكال الأربعـة العامـة للاسـتـجـابة للجـرعـة . المنحنى (A) يعكس عدم الاستجابة : المنحنى (B) عبارة عن استجابة خطية : المنحنى (C) عبارة عن استجابة خطية لها بداية فى شكل عتبة : المنحنى (D) يمثل استجابات متقاربة فى شكل منحنى.

المنحنى الخطى للاستجابة للمواد التى تسبب السرطان، وتم افتراض المنحنى الذى له عتبة للاستجابة للمواد التى لا تسبب السرطان مالم يوجد دليل يثبت العكس.

ويعتبر **استقراء النتائج** المتحصل عليها من دراسات الحيوان للتطبيق على الإنسان مشكلة ثانية رئيسية فى تقويم الاستجابة للجرعة. وهناك اعتقاد متفق عليه بأن المواد المعروف عنها أنها تسبب السرطان فى الإنسان سوف تسبب السرطان فى الحيوانات أيضاً، غير أن العكس لم تتضح نتائجه بشكل حاسم. وهناك أسئلة واضحة تتعلق بالجوانب الأخلاقية، وهى أن تجارب الاستجابة للجرعة لايمكن تنفيذها على الإنسان. وبالإضافة إلى ذلك، فإن دراسات علم الأوبئة الخاصة بالإنسان ذات قيمة محدودة فى تعريف العلاقات الكمية للاستجابة للجرعة. وبناء على ذلك، فإن استخدام حيوانات المعمل لتقدير الاستجابة للجرعة – مع جميع مواطن الضعف الظاهرة – يعتبر مكوناً ضرورياً لتقويم الخطر.

ويُعدّ **اختبار أميس Ames** أحد الأساليب المهمة للاستقراء من الجرعة العالية إلى الجرعة المنخفضة ومن الحيوانات إلى الإنسان. وقد سُمِّى هذا الاختبار بهذا الاسم نسبة إلى مبتكره بروس أميس Bruce Ames، وهو أستاذ كيمياء حيوية فى جامعة كاليفورنيا فى بيركلى. ويعتبر اختبار أميس وسيلة لترتيب الأضرار السرطانية الممكنة فى الإنسان عن طريق حساب قيمة نسبة **«تعرض الإنسان: قوة القارض» (HERP)**. وتُحسب هذه القيمة بالتعبير عن معدل الامتصاص اليومى للمادة المشكوك فى أنها تسبب السرطان (مجم/ كجم/ يوم) كنسبة من TD_{50} للمادة فى أصناف القارض الأكثر حساسية. وتعرّف TD_{50} بأنها الجرعة اليومية من المادة التى تحدث ورمًا خبيثًا فى ٥٠٪ من حيوانات المعمل عند نهاية عمر معيارى. وهناك أمثلة لقيم HERP مدونة فى جدول ١١ – ٦.

وقد وجد أن اختبار أميس مثيراً للخلاف والجدل إلى حد ما، ولا يستخدم فى اتخاذ القرار التشريعى. وبالرغم من ذلك، فإنه يعطى بعض المقارنات المهمة، على سبيل المثال فهو يبين أن الخطر النسبى الناتج من بعض الملوثات البيئية (مثل تراى

كلورو إثيلين، ومركبات PCBs) أو بقايا المبيد (مثل د.د.ت، إثيلين داى بروميد EDB) أقل من الخطر الناتج من بعض الأدوية أو من بعض المسرطنات الطبيعية الموجودة فى غذائنا ومشروباتنا، كما يوضح أيضًا أن قيم HERP لدوائين من الوصفة الطبية (الروشتة) يتم تعاطيهما على فترات ممتدة من الزمن - عالية نسبياً، عما تكون عليه القيم الخاصة بتعرض العمال للفور مالدهيد أو EDB. وعند مناقشة الوعى بالخطر، ظهر بوضوح أن الخطر الناتج من تعرض الغذاء لمركبات PCBs، أو د.د.ت.، أو إثيلين داى بروميد ينتظر أن يكون أكبر بكثير جدا من ذلك الخطرالناتج من استهلاك زبدة الفستق، أو مياه الحنفية المعاملة بالكلورين، أو المشروبات الكحولية؛ هذا إلى جانب أن اختبار أميس يمكن أن يستخدم من ناحية أخرى للأخطار الحقيقية المعتمدة على التسرطن.

١١ - ٤ - ٣ توصيف الخطر:

يقوم توصيف الخطر بدمج النتائج من تقويم التعرض للخطر وتقويم الاستجابة للجرعة، كما يقوم أيضا بتحديد ممارسات الإدارة التى تنتج تعرضا مقبولا للكائنات المستقبلة. وهى فى الغالب حسابات استرجاعية، تبدأ بتعرض مقبول لكائن ما، ثُمّ الرجوع مرة أخرى لممارسات الإدارة أو التركيزات فى البيئة (التربة أو المياه) التى تُنتج التعرضات القصوى المقبولة. ومثل هذه الحسابات قد تشكل الأسس للأعمال التشريعية.

والقيمة التى تستخدم أحيانا فى توصيف الخطر هى **الجرعة المرجعية RfD**؛ وهى الامتصاص اليومى لمركب كيميائى والذى - إذا ماامتص خلال فترة الحياة الكاملة - قد لا يسبب خطرا. ووحدات تمييز الجرعة المرجعية هى ملليجرام لكل كيلو جرام (مجم/كجم) من وزن الجسم يوميا. وتحسب أحيانا بأنها:

جدول ١١ – ٦ دليل «تعرض الإنسان : قوة القارض» (HERP) لبعض المواد المختارة.

تعرض الإنسان فى اليوم	الجرعة التى تحدث سرطاناً لكل شخص وزنه ٧٠ كجم	قيمة HERP (٪)
– مياه الحنفية المكلورة ، واحد لتر.	كلوروفورم ، ٨٣ ميكروجم.	٠٠١ر٠
– مياه الآبار الملوثة ، ١ لتر.	تراى كلورإثيلين، ٢٨٠٠ ميكروجم.	٠٠٤ر٠
– مياة الخزان المكلورة ، ١ ساعة (طفل).	كلوروفورم ، ٢٥٠ ميكروجم.	٠٠٨ر٠
– هواء المنزل العادى (١٤ساعة / يوم).	فورمالدهيد ، ٥٩٨ ميكروجم.	٦ر٠
– مركبات PCBs ، تناول يومى ضمن الغذاء.	PCBs ، ٢ر٠ ميكروجم.	٠٠٠٢ر٠
– DDE ، د.د.ت ، تناول يومى ضمن الغذاء.	DDE ، ٢ر٢ ميكروجم.	٠٠٠٣ر٠
– EDB ، تناول يومى ضمن الغذاء.	EDB، ٤٢ر٠ ميكروجم.	٠٠٠٤ر٠
– لحم خنزير مقدّد ، مطبوخ (١٠٠ جم).	راى ميثيل نتروز أمين ، ٣ر٠ ميكروجم.	٠٠٣ر٠
– زبدة الفستق ، سندوتش واحد (٣٢جم).	أفلاتوكسين ، ٦٤ نانوجم.	٠٣ر٠
– عيش الغراب ، نيئ (١٥ جم).	خليط من مركبات الهيدرازين.	١ر٠
– بيرة ، ٣٥٤ مل.	كحول إثيلى ، ١٨ مل.	٨ر٢
– نبيذ ، ٢٥٠ مل.	كحول إثيلى ، ٣٠ مل.	٧ر٤
– فينوباربيتال ، قرص واحد مُنوِّم.	فينوباربيتال ، ٦٠ مجم.	١٦
– كلوفيبرات (متوسط جرعة يومية ، لتخفيض الكوليسترول).	كلوفيبرات ، ٢٠٠٠ مجم.	١٧
– فورمالدهيد ، المتوسط اليومى للتناول.	فورمالدهيد ، ٦,١ مجم.	٨ر٥
– EDB ، المتوسط اليومى لتناول الجرعة العالية.	EBD ، ١٥٠ مجم.	١٤٠

(Ames et al., 1987.)

الجرعة المرجعية = حد التأثير العكسي غير الملاحظ ÷ عامل الأمان. وعامل الأمان له قيمة من ١٠ إلى ١٠٠٠ كما هو الحال عندما يتم استقراء نتائج الحيوانات على الإنسان. وتتغير قيمة عامل الأمان تبعا للمقارنات بين الأنواع المختلفة والدراسات الخاصة باستخدام التعرضات المزمنة، وتحت المزمنة، والحادة. وتوضح الأمثلة العديدة بدرجة أفضل تطبيقات توصيف الخطر.

والأترازين مبيد للحشائش الضارة، ويستخدم عامة لمكافحة الحشائش فى صفوف المحاصيل. والسؤال الوحيد الذى حدث حوله خلاف هو هل الأترازين يجب أن يُصنّف كأحد مسرطنات المجموعة B2 أو المجموعة C ؟ ولقد أظهرت أحد الدراسات باستخدام سلالة واحدة من الفئران تفشى أورام خبيثة بالثدى بعد تعرض الفئران للأترازين، غير أن وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة لاتشعر أن هذا دليل كافٍ لوضع الأترازين فى المجموعة B2 ، وأوضحت الدراسات العديدة أن قيمة حد التأثير العكسي غير الملاحظ تتراوح من ٤٨ر٠ إلى ٥ر٠ مجم/كجم/يوم. وشملت الاستجابات انحلال أو تفسخ عضلة القلب فى الكلاب إلى أوزان أقل للجرزان (أفراد الجيل الثانى للفئران). وتستخدم وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة أصغر قيمة لحد التأثير العكسي غير الملاحظ NOAEL لحساب الجرعة المرجعية. وفى هذه الحالة، حسبت الجرعة المرجعية RfD بأنها تساوى ٤٨..ر. مجم/كجم/يوم (= خارج قسمة حد التأثير العكسي غير الملاحظ ÷ معامل الأمان ١٠٠). ومن الجرعة المرجعية يمكن حساب الحد المكافئ لمياه الشرب DWEL كمايلى:

$$DWEL = \frac{RfD \times BW}{I_W} \quad (11 - 1)$$

حيث:

BW = وزن الجسم للشخص البالغ (يُستخدم ٧٠كجم كوزن نموذجى).

I_W = كمية مياه الشرب المستهلكة بواسطة الإنسان فى اليوم (٢لتر/اليوم).

وتكون قيمة DWEL هى التركيز الأقصى للأترازين المسموح به فى مياه الشرب بافتراض أن الشخص يحصل على كل الاترازين الخاص به من المياه. وفى هذه الحالة فإن DWEL = ١٦٨ر٠ مجم/لتر.

والخطوة التالية هى حساب أهداف الحد الأقصى بإحدى طريقتين. والطريقة المفضلة هى ضبط أو تعديل الحد المكافئ لمياه الشرب DWEL اعتمادا على كمية المادة الكيماوية المأخوذة من مصادر أخرى مثل الغذاء والهواء. وإذا لم تكن هذه المعلومات ميسرة (الحالة المعتادة)، حينئذ فإن MCLG يحسب بافتراض أن ٢٠٪ من المادة الكيماوية يتم الحصول عليه من مياه الشرب. ويستخدم عامل السلامة الإضافى ١٠ للأترازين ؛ لأنه مادة مسرطنة تتبع المجموعة C. وبذلك تكون قيمة MCLG كالتالى:

$$\frac{\text{١٦٨ر٠ مجم / لتر} \times \text{٢ر٠}}{\text{١٠}} = \text{٠٠٣ر٠ مجم / لتر} \qquad (\text{١١} - \text{٢})$$

وتسمح أحسن التقنيات الميسرة بأن يكون MCL هو نفس MCLG للأترازين. وهكذا فإن معيار مياه الشرب أصبح ٠٠٣ر٠ مجم/لتر (٣ جزء فى البليون)؛ وأى مصدر لمياه الشرب يتعدى فيه متوسط تركيز الأترازين ٣جزء فى البليون يجب اتخاذ خطوات فعالة لتقليل تركيز الأترازين فيه عن الحد المذكور. ويمكن إزالة الأترازين من المياه بالترشيح بالفحم، بالرغم أن هذه العملية مكلفة.

لقد حدث خلاف كبير بخصوص الأترازين. فتشعر بعض الجماعات أو الأحزاب أنه يوجد دليل كاف لتحريم الأترازين أو حظر استخدامه نهائيًا. أما مستخدمو الأترازين فيشعرون أنه وسيلة مهمة (فعالة ورخيصة التكلفة) فى إنتاج المحاصيل، وأن الأترازين مأمون عندما يستخدم بطريقة سليمة. والقانون الفيدرالي لمبيدات الحشرات، والفطريات، والقوارض (FIFRA) هو تشريع يغطى عملية تصنيف الأترازين، وهو يشترط أن الأترازين يجب أن يؤدى الغرض المقصود منه بدون تأثيرات عكسية غير

معقولة على البيئة. وتوصف التأثيرات العكسية غير المعقولة بأنها أى خطر غير مَعقول للإنسان أو البيئة، مع الأخذ فى الحسبان التكاليف والمنافع الاقتصادية، والاجتماعية، والبيئية لاستخدام الأترازين ، ويتضح من ذلك أن القانون يوفر الحاجة لموازنة أخطار الأترازين فى مقابل منافعه. وبذلك يصبح القانون فى الوقت الحالى فى جانب منافع الأترازين. ويُعتبر بند التكاليف مهمًا فى هذه الحالة بسبب ارتفاع تكلفة الفلترة بواسطة الفحم. وإذا استخدمت المياه السطحية كمصدر رئيسى لمياه الشرب فقد يكون لها مشكلات تتعلق بمواجهة معيار الأترازين (٣ جزء فى البليون) فى حالة استخدام الأترازين بدرجة مكثفة فى منطقة الصرف الخاصة بمصدر المياه. وهناك حالة واحدة فريدة، تمّ فيها إنشاء منطقة إدارة للمبيد حول مستودع مياه فى كنساس، ووضعت قواعد أكثر صرامة لاستخدام الأترازين بمستوى أكثر من المطلوب بواسطة بطاقة المنتج. وحتى هذا الوقت، فالإذعان لهذه القواعد عملية اختيارية، ولكن بدون تخفيض فى تركيز الأترازين فى المستودع، وفيما بعد، قد يصبح الإذعان لهذه القواعد إلزامياً.

وهناك مثال آخر لتوصيف الخطر يتعلق بمعدل الإضافة التراكمى المسموح به لمادة ملوثة للتربة عن طريق إضافة حمأة المجارى للأرض، كما تم وصفه سابقاً، ويحسب معدل الإضافة المرجعى (Rp كجم/هكتار) كمايلى:

$$RP = \frac{\left[\frac{RfD \times BW}{RE} - TBI\right] \times 10^3}{\Sigma\, UC_i \times DC_i \times FC_i} \quad (11-3)$$

حيث:

Rp , BW , RfD = كما عرّفت سابقا.

TBI = معدل الامتصاص الكلى الأساس للملوث (مجم/يوم).

RE= التأثير النسبى للتعرض للابتلاع [بدون وحدات، عامة يفترض أن يكون (١) إذا لم يوجد دليل بعكس ذلك].

10^3 = معامل التحويل (ميكروجرام / ملليجرام).

UC_i = ميل استجابة الامتصاص بالنسبة لمجموعة الغذاء i (ميكروجرام/ جم مادة جافة لكل كيلو جرام مادة ملوثة مضافة لكل هكتار).

DC_i = استهلاك الغذاء فى اليوم لمجموعة الغذاء i (جرام مادة جافة لكل يوم).

FC_i = جزء مجموعة الغذاء i والمفترض أنها تنشأ من تربة محسّنة بالحمأة بدون وحدات، مفترض أنها ٢ر٥٪ لجميع السكان ككل).

ويتم الحصول على قيمة DC_i من دراسة الغذاء الكلي. وبالرغم أن الحسابات الفعلية ثقيلة ومرهقة، سوف لا نعيد تكرارها هنا، إلا أنه ينبغى على القارئ أن يقدر قيمة الجوانب العديدة للمعادلة ١١ - ٣. والمعادلة مكتوبة للإنسان ككائن مستقبل، بالرغم أنها صالحة لأى كائن بشرط أن تكون البيانات المطلوبة متيسرة. والبسط فى المعادلة يُقدّر الجرعة المؤثرة المسموح بها للمادة الملوثة للكائن المستقبل فوق مستوى الأساس. والمقام يُقدّر الزيادة فى تركيز الملوث فى كل مجموعة غذاء عندما يضاف الملوث إلى التربة، كما يقوم بتحليلها إلى:

(١) القدر الذى يُستهلك من مجموعة الغذاء هذه،

(٢) نسبة مجموعة الغذاء هذه التى تنشأ من الأراضى المتأثرة بالملوث.

وفى حالة ابتلاع التربة المباشر، فإن المقام يتغير ليعكس التغير فى تركيز الملوث فى التربة عندما يضاف الملوث إلى التربة ويزداد معدل ابتلاع التربة. وقد يتطلب الأمر إضافة عوامل أمان إضافية.

وبالرجوع إلى الفصل السابع نجد أن تلوث العناصر النادرة للأراضى مستمر بصفة دائمة، ولذلك ينبغى الاعتراف بأن تشريعات التخلص من الحمأة تسمح بحدوث

كمية معينة من التلوث غير العكسى للأراضى، وهذا يتناقص مع فلسفة غرب أوروبا التى تذهب إلى أن الأراضى ذات سعة محدودة لامتصاص الملوثات بدون نتائج سلبية، وأن على الإنسان أن لايستنفد أى قدر من تلك السعة (بمعنى أن التركيزات فى الأراضى يجب أن لانسمح لها بأن تتغير). ولقد تم وضع القوانين أوالتشريعات فى الولايات المتحدة اعتماداً على فلسفة الخطر مقابل المنفعة. وتوضح عملية تقويم الخطر أنه يمكن تنظيم الزيادة فى الخطر حتى تنخفض إلى مستويات غير معنوية، كما توضح أن هناك منافع كبيرة من إضافة الحمأة للأراضى؛ فإضافة الحمأة للأراضى يوفر الأموال مقارنة بالاختيارات الأخرى للتخلص منها؛ فعلى سبيل المثال، فإن وضع المادة الملوثة فى مدافن فى باطن الأرض أصبح مكلفا ومحرمًا فى السنوات الأخيرة، ويصاحبه أخطار مثل نشوء راشح واحتمال تلوث المياه السطحية والجوفية. كما لم تعد عملية الحرق أو عملية الإغراق فى المحيط مقبولة بيئيًا. وتحتوى الحمأة أيضًا على عناصر غذائية ومادة عضوية يمكن أن تُحسّن خواص التربة الطبيعية وخصوبة التربة. وفى النهاية، فإن القوانين أوالتشريعات الوطنية يجب أن تقلل الخطر فعلا فى المناطق التى لم يتم عمل تشريعات فيها من قبل، كما تنظم التخلص من الحمأة.

١١ - ٥ الشك:

إن كلا من الجمهور والمجتمع العلمى يمكن أن ينتقد عملية تقويم الخطر والتشريعات الناتجة؛ فالجمهور يريد فى الغالب حدوداً من الأمان غير واقعية، وأحيانًا، يبدو أنه ليس على وعى بالحقيقة التى تعنى أنه لايمكن أن يوجد مجتمع خال من الخطر، وتعد الحدود المقبولة من الخطر أقل بكثير من الأخطار التى تنتج من معظم الأنشطة اليومية. وقد أدى هذا التفكير إلى مرور قانون ديلانى Delaney الذى يُحرِّم استخدام المواد المسببة للسرطان مثل الطعام وما يضاف إليه. والمحصلة هى أن مفهوم قانون ديلانى Delaney سليم لاعيب فيه فيما عدا أنه يعطى معياراً مطلقًا للخطر لا يأخذ فى حسبانه الاحتمال، أو التكاليف، أو المنافع. علاوة على أن الجمهور أيضًا

لايشعر بالارتياح فيما يتعلق بعوامل الأمان التى يعتبرها جائرة وغير كافية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الزيادات فى الخطر تُذكر غالبا على أنها نتائج سلبية قليلة لكل ١٠٠ ألف أو لكل مليون نسمة معرضة ، وهذا يترك انطباعًا لدى الجمهور بأن النتائج السلبية الممكن تجنبها مسموح بحدوثها بنحو متعمّد.

وينتقد المجتمع العلمى القوانين أو التشريعات المكتوبة بالاعتماد على بيانات محدودة أو مشكوك فى صحتها. والمشكلات السابق ذكرها الخاصة بالاستقراء من الجرعة العالية إلى الجرعة المنخفضة ومن الحيوانات إلى الإنسان هى السبب فى هذا الخلاف. ويتطلب كل من الاستقراءين عمل تنبؤات بجانب اتساع نطاق البيانات، والتى هى فى عمومها غير مقبولة فى المنهج العلمى ، والعلماء دائمًا يريدون بيانات وافرة قبل اتخاذ أى قرار.

ومن المحتمل أن يستمر نقد عملية تقويم الخطر إلى أجل غير مُسمًّى، وهذا النقد يساعد كلا من الجمهور والمجتمع العلمى على تفهّم أن عملية الخطر ليست بحثًا عن الصدق العلمى، وإنما الهدف منها هو تقويم الخطر إلى حد يصل إلى الرغبة فى عدم بخس تقويم الخطر الفعلى، بالإضافة إلى تطوير التشريعات التى تحمى البيئة من الخطر بتكاليف معقولة. وفى النهاية، تعتبر التشريعات البيئية وتضميناتها لحدود مقبولة من الخطر قرارًا اجتماعيًا وليست قرارًا علميًا.

المراجع :

Ames, B. N., Magaw, R., and Glod, L. S., Ranking possible carcinogenic hazards, Science, 236, 271, 1987.

Chaney, R. L. and Ryan, J. A., Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW - composts: research results on phytoavailability, bioailability, fate, etc., In Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological, and Utilization Aspects, Hoitink, H. A. J. and Keener, H. M., Ed., Renaissance Publishers, Worthington, OH, 1993.

Ryan, J. A. and Chaney, R. L., Regulation of municipal sewage sludge under the Clean Water Act Section 503: a model for exposure and risk assessment for MSW - compost, in Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological, and Utilization Aspects, Hoitink, H.A.J. and Keener, H.M., Ed., Renaissance publishers, Worthington, OH. 1993.

Slovik, P., Perception of risk, Science, 236, 280, 1987.

Slovik, P., Fischhoff, B., and Lichtenstein, S., Rating the risks, Environment, 21,14, 1979.

U.S. Environmental Protection Agency, Development of Risk Assessment Methodology for Land Application and Distribution and Marketing of Municipal Sludge, EPA/600/6-89/001, 1989.

مراجع مساعدة:

Glickman, T. S. and Gough, M., Eds., Reading on Risk, Resources for the Future, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1990.

Hallenback, W. H. and Cunningham, K. M., Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupational Health, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1986.

McColl, R. S., Ed., Environmental Health Risks: Assessment and Management, University of Waterloo Press, Waterloo, Ontario, Canada, 1987.

U.S Environmental Protection Agency, The Risk Assessment Guidelines of 1986, EPA/600/8-87/045, 1987.

مصطلحات الكتاب

- A -

Acidification	تحميض
Acid Rain	مطر حامضي
Accumulation	تراكم
Adsorption	ادمصاص
Adverse effects	تاثيرات عكسية
Aerobes	بكتريا هوائية
Aesthetic	جمالى
Alum	الشبة
Amendments, Soil	محسنات التربة
Amphibians	برمائيات
Animal based - agriculture	زراعة معتمدة على الحيوان
Annual Plants	نباتات حولية
Apical	قمية (عليا)
Aquifers	الطبقات الصخرية المائية أى الحاملة للماء

وهى إما محبوسة أى تقع تحت طبقة غير منفذة، أو غير محبوسة: غير محدودة من أعلى ولها مستوى ماء أرضى.

Aquitards = Aquicludes	صخور مانعة
Arthropods	المفصليات: شعبة من الحيوانات اللافقارية مفصلية الأجسام كالحشرات والعناكب
Atmospheric Deposition	الترسيب الجوى

- B -

Badger	الغُرير: حيوان ثديي قصير القوائم يحتفر فى الأرض حفرة يسكن فيها
Basal Oxygen	ذرات الأكسجين القاعدية
Bioaccumulation	تراكم حيوى
Bioaugmentation	زيادة حيوية: وهى تزويد وسط ما (مثل المياه الجوفية) بالكائنات الدقيقة لزيادة فرص التحلل البيولوجى للمركب العضوى (الملوث)
Bioavailability	تيسر حيوى
Biodegradation	تحلل حيوى
Biome	مجتمع حيوى : وحدة اجتماعية كبيرة وواضحة
Biota	كائنات حية (نباتية وحيوانية)
Bogs	الأراضى الوحلة (السبخة)
Border strips	أحزمة خضراء على الحدود لكى تحبس الرواسب وتجمع النتروجين الذائب فى كتلتها الحيوية
Bovine leukemia	مرض اللوكيميا أو ابيضاض الدم البقرى

Buffer zones	مناطق عازلة / واقية / فاصلة
Burrowing animals	حيوانات تحفر جحوراً فى الأرض لتقيم وتختبئ فيها

- C -

Canopy	ظلّة الغابة : الجزء الأعلى، المتغصن من الغابة
Capillary action	فعل الخاصة الشعرية
Carcinogens	المسرطنات : المواد التى تسبب السرطان
Casts	براز ديدان الأرض
Catalytic	تحفيزى
Cationic bridges	تكوين قناطر كاتيونية
Cementing agents	مواد لاحمة
Chat	فضلات الصخور تنتج من عمليات التعدين وتكون فيها العناصر النادرة بتركيزات عالية
Chisel plowing	الحرث باستخدام المحراث المقار
Chronic	مزمن
Climax	الذروة
Clogging	انسداد
Compost	سماد عضوى صناعى (كمبوست)
Consensus	إجماع
Containment	إحتواء (الملوث مثلا)
Controversial	مثير للجدل والخلاف

Consumers	كائنات مستهلكة
Consolidation	التصلب – التحجر

- D -

Dealkylation	نزع الألكيل
Decomposers	كائنات محللة
Deforestation	إزالة الغابات
Dehalogenation	نزع الهالوجين
Detoxification	إزالة السمية
Detritus	فتات الصخور
Denitrification	عملية عكس التأزت للنتروجين
Dermal	جلدى
Desorption	انطلاق
Diagnostic Horizons	آفاق تشخيصية
Dielectric Constant	ثابت العازل الكهربائى
Diffusion	انتشار
Disinfectants	مطهرات
Disking	الحرث بالمحراث القرصي
Dumping, ocean	الإغراق فى المحيط

- E -

Earthy aroma	رائحة أو عبير الأراضي : ينتج عن النواتج المتطايرة لنشاط الاكتينوميسيتات

Earthworms	ديدان الأرض
Ebb- and - flow	الجزر والمد
Ecocentric	مهتم بالبيئة
Ecosystem	نظام بيئي
Ecology	علم البيئة
Ectone	منطقة انتقالية
Edible	صالح للأكل
Egocentric	فرد أنانى أو أنوى: يهتم بنفسه فقط لا بالمجتمع
Electrocution	الإعدام بالكهرباء
Eluviation	عملية الغسيل
Encapsulate	يغلف
Environment	البيئة
Environmental Appealing Process	عملية إغاثة بيئية
Epipedon	أفق سطحى
Eutrophication	ظاهرة التشبع الغذائى
Excavation	حفر
Excretion	إفراز - إخراج
Expanding	متمدد
Exudates,root	إفرازات الجذور

- F -

Facultative Anaerobes	بكتريا اختيارية لاهوائية

Fallowing	حرث الأرض وتركها للراحة بدون زراعة
Feedlots	مزارع الأبقار
Fog	ضباب
Food byproducts	النواتج الثانوية للغذاء
Food chain	السلسلة الغذائية
Foot and mouth disease	مرض الحمى القلاعية فى الحيوانات
Forage	علف الماشية
Forested	المحرَّجة أى المزروعة غابات
Fossil fuels	الوقود الحفرى
Fumigation	عملية التدخين أو التبخير (عملية يتم بها تدخين أو تبخير الأرض أى تطهيرها بتعريضها للدخان أو البخار أو الغاز)

- G -

Geohydrology	علم الجيوهيدرولوجى: علم دراسة المياه فى النظم الجيولوجية مثل بيئة الطبقات الصخرية المائية والمياه الجوفية
Genesis , Soil	نشأة وتكوين الأراضى
Genetically engineered	المهندَسة وراثياً
Glaciers	الثلاجات
Gopher	سلحفاة
Grass clippings	نواتج قص الحشائش

Grassland	مرعى
Grassed waterways	ممرات مائية مزروعة بالأعشاب
Green hous effect	تأثير الصعوبة :تأثير الاحتباس الحرارى أو الدفيئة

- H -

H^+- dissolution	انفصال أيونات الهيدروجين
Herbivorous fish	أسماك عشبية (تتغذى على الأعشاب) مثل الهامور
Heterotrophs	كائنات عضوية التغذية
Histic epipedon	أفق سطحى هيستيك أى نسيجى
Host	مضيف
Humic like substances	مواد شبيهة بالدبال
Hydric Soil	أرض وافرة الرطوبة – مادة التربة فيها غير متفذة للماء بصفة دائمة
Hydraulic condutivity	التوصيل الهيدروليكى
Hydraulic gradient	التدرج الهيدروليكى
Hydrolysis	التحلل المائى
Hydrophic	كاره أو غير محب للماء
Hydroxylation	تكوين هيدروكسيلات
Hyperaccumulators	نباتات مجمعة للعناصر بإفراط

- I -

Igneous rocks	صخور نارية
Illuviation	ترسيب أو إضافة

Immisible	غير قابل للامتزاج (بالماء مثلا)
Immobilization	التثبيت فى صورة عضوية
Impairment	إفساد - إتلاف
Incineration	الحرق
Indefinitely	إلى أجل غير مسمىً
Infestakion, weed	انتشار أوغزو الأعشاب الضارة
Infiltration	رشح
Infrared radiation	الأشعة تحت الحمراء
Ingenuity and Innovation	الإبداع و التجديد
Inhalation	الاستنشاق : الشهيق
Inoculation	التلقيح
Intensity factor	عامل السعة : تركيز العنصر فى المحلول الأرضى
In - Situ methods	طرق التخلص من الملوثات في نفس مكان التلوث
Invation	اجتياح :غزو (بكتيرى مثلا)
Interlayer Spaces	الفراغات الموجودة بين الطبقات
Intermittent	جرعات صغيرة متقطعة
Ion exchange	تبادل أيونى
Ionization	تحلل أيونى
Iron chlorosis	الاصفرار الناشئ عن نقص الحديد
Isolation	عزل
Isomorphic substitution	إحلال متماثل

- L -

Latent heat	الحرارة الكامنة
Latitude	خط العرض

Leaf lesions	آفات الأوراق
Leaf litter	مخلفات أوراق النباتات
Leaf rob, potato	مرض تجعد الأوراق للبطاطس
Legand exchange	تبادل روابط شبه تساهمية
Leguminous plants	نباتات بقولية
Lichens	الأشنة : تجمعات تكافلية من طحلب وفطر وهي مستعمرات للصخر الأملس ومادة أصل التربة
Limnology	علم المياه العذبة

-M-

Management	إدارة : خدمة
Mandatory	إلزامي :إجبارى
Master Horizon	أفق رئيسي
Metabolism	الأيض
Meteorology	علم دراسة المناخ والطقس
Mildews	العفن الفطرى
Millet	نبات الدخن
Millipeds	الديدان الألفية الأرجل
Mineralization	معدنة
Mining	تعدين
Moldboard	محراث قلاب مروحي
Molds	عفن الخبز

Mortality	حالات الوفاة
Mounds	مساكن النمل
Mushroom	عيش الغراب
Mycordial infarction	الذبحة الصدرية

- N -

Necrosis	موت الأوراق بسبب مرض فطرى
Nematodes	النيماتودا
Nodules	عقد بكتيرية
No tillage agriculture	زراعة بدون حرث
Non point in origin	غير معروف مصدره

- O -

Oceanography	علم المحيطات
Occluded	مرتبط
Octahedral , Al	أوكتاهيدرا الألومنيوم : ثمانى الجوانب يحتوى على ألومنيوم فى تنسيق سداسي مع أكسجين و/ أو هيدروكسيل
Outbreak , pest	تفشى وانتشار الآفات أو المرض
Overgrazing	الرعى الجائر
Oxidation	تأكسد
Oxyanions	الأنيونات الأكسجينية مثل النترات والكبريتات

- P -

Paper mill sludge	حمأة مصانع الورق
Parent material	مـادة الأصل
Partition coefficient	معامل التوزيع (بين الأوكتانول والماء مثلا)
Particle density	الكثافة الحقيقية
Particulate matter	مـواد عـالقـة
Ped	وحـدة بنائيـة للأرض
Pelletizing	تصبيع – تكوير
Percolation	رشح
Permeability	نفاذية
Permanent charge	شـحنة دائمـة
Pesticides , Systemic	مبيدات جهازية
Pesticides , contact	مبيدات تلامس
pH- dependant charges	شحنات تعتمد على رقم الحموضة
Photooxidation	أكسدة ضوئية
Photodissolution	تحلل ضوئي
Photosynthesis	التمثيل الضوئي
Phytodegradation	تحلل الملوثات العضوية بواسطة النباتات
Phytoextraction	الاستخلاص بواسطة النباتات

Phytoimmobilization	تثبيت الملوثات بواسطة النباتات
Phytoplankton	نباتات مغمورة أو معلقة فى المياه (لا هى طافية ولا هى راسية)
Pica children	الأطفال المعوقين المرضى الذين لديهم رغبة فى أكل مواد غير صالحة للاستهلاك الآدمى مثل مواد التربة أو مواد الرسم
Potential, total water	الجهد المائى الكلى
Potential, matric	جهد النسيج
Potential, pressure	جهد الضغط
Potential, gravi-	جهد الجاذبية الأرضية
Potential, solute	ty الجهد المذاب
Potential, osmotic	الجهد الإسموزى
Prarie dogs	كلاب البرارى
Precipitation	ترسيب
Precursor compound	مركب تمهيدى لمركب آخر (بشير)

- R-

Readily	بسرعة - بسهولة
Recrystyllization	إعادة التبلور
Reduced tillage	الحرث القليل
Remediation	علاج
Reduction	اختزال

Release	انطلاق
Relief	منسوب – طبوغرافيا
Reproduction	تكاثر
Rhizosphere	الريزوسفير : المنطقة التى حول الجذور وتتأثر بوجود الجذور
Runoff, surface	مياه الأمطار السارية على السطح (وقد تشمل المياه الناتجة عن ذوبان الجليد)

- S -

Sagebrush	أدغال: شجيرات كثيفة ملتفة
Salinity and alkalinity	الحموضة والقلوية
Sanitary landfills	مدافن النفايات الصحية
Saprophytes	مُترمِّمة
Scientific method	المنهج العلمي
Scavenge	تحفظ على أوراقها وسيقانها
Secondary minerals	معادن ثانوية
Septic tanks	المخلفات الآدمية
Sesquioxides	الاكاسيد السداسية: أكاسيد الحديد والالومنيوم
Sewage sludge	حماة المجارى
Sewage water	مياه المجارى
Silviculture	زراعة الغابات والعناية بها
Slurrying	تكوين ملاط رقيق القوام (طين سائل)
Slender branched filaments	خيوط رفيعة متفرعة

Smuts	السنَّاج : فطريات خيطية عديدة الخلايا
Snowmelt	ذوبان الجليد
Solidification	تصلب - تحجر
Soil solution	المحلول الأرضي
Squirrels , ground	السنجاب
Stable aggregates	تجمعات أرضية ثابتة
Stream	جدول : نهر صغير
Subsurface diagnostic horizons	آفاق تشخيصية تحت سطحية
Subordinate designations	دلالات ثانوية
Susceptile	حساس
Symbiotic	تكافلي

-T-

Tailings	نفايات خامات المعادن
Target organisms	كائنات مستهدفة
Temperate	معتدل
Tension , surface	التوتر السطحي
Termites	النمل الأبيض
Terracing	الزراعة على مصاطب
Tetrahedra, silicon	تتراهيدرا السليكون : رباعى السطوح يتكون من سليكون فى تنسيق رباعى مع الأكسجين
Texture , soil	قوام التربة
Toxin	سموم
Trace gases	الغازات النادرة

Transitional horizons	آفاق انتقالية

وهى التى تظهر خواص مشابهة للآفاق التى فوقها أو التى تحتها.

Transformations	تحولات
Translocation	انتقال
Transition layer	الطبقة الفاصلة
Transport	انتقال
Tubers	درنات

- U -

Ultraviolet	الأشعة فوق البنفسجية
Unconsolidated	مفككة
Unicellular	وحيد الخلية
Uprooting	استئصال
Urbanization	تحضر

-V-

Vadose lager	منطقة فادوز : منطقة غير مشبعة
Vegetation	كساء نباتي: كساء خضرى
Vertisols	أراضى طينية ثقيلة
Viable	قابل للحياة أو النمو
Void space	الفراغات البينية : المسام الكبيرة + المسام الصغيرة
Volatilization	تطاير

Volnerability	قابلية

-W-

Water content	المحتوى الرطوبى : نسبة الرطوبة
Water potential	الجهد المائى
Water table	مستوى الماء الأرضى
Weathering	تجوية
Weeds	أعشاب ضارة
Wetlands	الأراضى الرطبة :البرك
Worms	ديدان

-Y-

Yard wastes	مخلفات الساحة : أوراق الأشجار المتساقطة + نواتج قص الحشائش
Yeast	خميرة

مختصرات الكتاب

BMP_s	Best Management Practices	أحسن ممارسات الإدارة لغرض صيانة الأراضي
BOD	Biological Oxygen Demand	الاحتياج الحيوى للأكسجين
CEC	Cation Exchange Capacity	السعة التبادلية الكاتيونية
CFCs	Chloro - floro - carbons	غازات الكلوروفلورو كربون
COD	Chemical Oxygen Demand	الاحتياج الكيميائى للأكسجين
COS	Carbonyl Sulfide	غاز كبرتيد الكربونيل
DAP	Di - Ammonium Phosphate	فوسفات ثنائى الأمونيوم
DDE	Dishlordipheny dichloro ethylene	داى كلورو دايفينيل داى كلورو إثيلين
DNA	Deoxyribonuleic acid	حامض دى أوكسى – ريبونيوكليك
DOC	Dissolved Organic Carbon	الكربون العضوى الذائب
DRIS	Diagnosis and Recommedation Integrated System	النظام المتكامل للتشخيص والتوصيات
DWEL	Drinking Water Equivalent level	الحد المكافئ لمياه الشرب
EDB	Ethyene dibromide	إثيلين داى بروميد
EON	Economically Optimun Nitrogen	المعدلات الاقتصادية المثلى للنتروجين
EPA	U.S. Envirnomental Protection Agency	وكالة حماية البيئة الأمريكية

EPIC Erosion - productivity - Impact - Calculator.

نموذج : انجراف – إنتاجية – تأثير – حاسب

EPC_0 EquilibriumP Concentrtion at zero adsorption

تركيز الفوسفات المتزن عند ادمصاص صفر

ESP Exchangeable Sodium Percentage.

النسبة المئوية للصوديوم المتبادل

FIFRA The federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act — القانون الفيدرالى لمبيدات الحشرات والفطريات والقوارض

GCM_S Global Circulation Models — نماذج محاكاة المناخ

GR Gypsum Requirement — الاحتياجات الجبسية

HA Health Advisry level — المستوى الصحى المنصوح به من وكالة حماية البيئة الأمريكية

HERP Human Exposure :Rodent poter¢y — نسبة تعرض الإنسان إلى قوة القارض

HEI Highly Exposed Individual

الفرد المعرض للتلوث بدرجة عالية

IM Initial Mass isotherm — معادلة الكتلة الأولية

IPM Integrated Pest Management — الإدارة المتكاملة للآفات

LLC Land Limiting Constituents — المكونات المحددة لاستخدام المخلفات فى الأراضى

MNP Mono - Ammonium Phosphate فوسفات أحادى الأمونيوم

MCLG Maximum Contaminant level Goals أهداف الحد الأقصى للملوث

MRT Mean Residence Time متوسط زمن البقاء

NIMBY Not In My Back Yard - بعيداً عنى

NOAEL No Observable Adverse Effect Level حد التأثير العكسى غير الملاحظ

NRE N - Recovery Efficiency كفاءة امتصاص النتروجين

NUE Crop N Use Efficiency كفاءة استخدام المحصول للنتروجين

OC Organic Carbon الكربون العضوى

PAN Potentially Available N كمية النتروجين الميسر

PSNT Pre - Sidedress Soil Nitrate Test

إختبار قبل الزراعة للنترات فى التربة.

PCBs Poly Chorinated biphenyls

مركبات الباى فينيل عديدة الكلوريد

QUATS Quaternary Ammonium Cations

كاتيونات الأمونيوم الرباعية

RCRA Resource Conservation and Recovery Act

هيئة اكتشاف وصيانة الموارد

RFD	Reference Dose	الجرعة المرجعية
RNA	Ribonucleic acid	حمض ريبونيوكليك
RP	Reference Application, kg / ha.	معدل الإضافة المرجعى ، كجم / هكتار
RSP	Reserve Soil Pool	احتياطى مستودع التربة من العنصر الميسر اللاباليل.
$T_{1/2}$	Halflife	نصف فترة الحياة
TCE	Trichloroethylene	مبيدات إثيلين ثلاثى الكلور

TCLP Toxicity Characteristic Leaching Procedure.

تخفيض خاصية السمية للعنصر النادر باستعمال طريقة الغسيل

TD_{50} Tumors Daily Dose

الجرعة اليومية من المادة التى تحدث ورمًا خبيثًا فى ٥٠٪ من حيوانات المعمل عند نهاية عمر معيارى .

UAN Urea - Ammonium - Nitrate

محلول (يوريا – أمونيوم – نترات).

YE	Yield Efficiency	كفاءة المحصول

ملحقات

جدول (١) العناصر، ورموزها، وأرقامها الذرية، وأوزانها الذرية على أساس أن الوزن الذرى النسبى للكربون - ١٢ =١٢.

اسم العنصر		الرمز	الرقم الذرى	الوزن الذرى
أكتينيوم	Actinium	Ac	٨٩	٢٢٧٫٠٢٨
ألومنيوم	Aluminum	Al	١٣	٢٦٫٩٨١٥
أميريكيوم	Americium	Am	٩٥	(٢٤٣)*
أنتيمونى	Antimony	Sb	٥١	١٢١٫٧٥٠
أرجون	Argon	Ar	١٨	٣٩٫٩٤٨
زرنيخ	Arsenic	As	٣٣	٧٤٫٩٢١٦
أستاتين	Astatine	At	٨٥	(٢١٠)
باريوم	Barium	Ba	٥٦	١٣٧٫٣٣٠
بركيليوم	Berkelium	Bk	٩٧	(٢٤٧)
بريليوم	Beryllium	Be	٤	٩٫٠١٢٢
بسموث	Bismuth	Bi	٨٣	٢٠٨٫٩٨٠٤
بورون	Boron	B	٥	١٠٫٨١٠
برومين	Bromine	Br	٣٥	٧٩٫٩٠٤
كادميوم	Cadmium	Cd	٤٨	١١٢٫٤١٠
كالسيوم	Calcium	Ca	٢٠	٤٠٫٠٨٠
كاليفورنيوم	Californium	Cf	٩٨	(٢٥١)
كربون	Carbon	C	٦	١٢٫٠١١
سيريوم	Cerium	Ce	٥٨	١٤٠٫١٢٠
سيزيوم	Cesium	Cs	٥٥	١٣٢٫٩٠٥٤
كلورين	Chlorine	Cl	١٧	٣٥٫٤٥٣
كروميوم	Chromium	Cr	٢٤	٥١٫٩٩٦
كوبالت	Cobalt	Co	٢٧	٥٨٫٩٣٣٢

٦٣ر٥٤٦	٢٩	Cu	Copper	نحاس
(٢٤٧)	٩٦	Cm	Curium	كوريوم
١٦٢ر٥٠	٦٦	Dy	Dysprosium	ديسبروسيوم
(٢٥٤)	٩٩	Es	Einsteinium	إينشنينيوم
١٦٧ر٢٦	٦٨	Er	Erbium	إربيوم
١٥١ر٩٦	٦٣	Eu	Europium	أوروبيوم
(٢٥٧)	١٠٠	Fm	Fermium	فيرميوم
١٨ر٩٩٨٤	٩	F	Fluorine	فلورين
(٢٢٣)	٨٧	Fr	Francium	فرانسيوم
١٥٧ر٢٥	٦٤	Gd	Gadolinium	جادولينيوم
٦٩ر٧٢	٣١	Ga	Gallium	جاليوم
٧٢ر٥٩	٣٢	Ge	Germanium	جرمانيوم
١٩٦ر٩٦٦٥	٧٩	Au	Gold	ذهب
١٧٨ر٤٩	٧٢	Hf	Hafnium	هافنيوم
٤ر٠٠٢٦	٢	He	Helium	هيليوم
١٦٤ر٩٣٠٤	٦٧	Ho	Holmium	هولميوم
١ر٠٠٧٩	١	H	Hydrogen	هيدروجين
١١٤ر٨٢	٤٩	In	Indium	إنديوم
١٢٦ر٩٠٤٥	٥٣	I	Iodine	أيودين
١٩٢ر٢٢	٧٧	Ir	Iridium	إريديوم
٥٥ر٨٤٧	٢٦	Fe	Iron	حديد
٦٣ر٨٠	٣٦	Kr	Krypton	كريبتون
١٣٨ر٩٠٥٥	٥٧	La	Lanthanum	لانثانيوم
(٢٦٠)	١٠٣	Lr	Lawrencium	لاورينسيوم
٢٠٧ر٢	٨٢	Pb	Lead	رصاص
٦ر٩٤١	٣	Li	Lithium	ليثيوم
١٧٤ر٩٦٧±٠ر٠٠٣	٧١	Lu	Lutetium	لوتيتيوم
٢٤ر٣٠٥	١٢	Mg	Magnesium	مغنيسيوم
٥٤ر٩٣٨٠	٢٥	Mn	Manganese	منجنيز

(٢٥٧)	١٠١	Md	Mendelevium	مندليفيوم
٢٠٠ر٥٩	٨٠	Hg	Mercury	زئبق
٩٥ر٩٤	٤٢	Mo	Molybdenum	موليبدنم
١٤٤ر٢٤	٦٠	Nd	Neodymium	نيوديميوم
٢٠ر١٧٩	١٠	Ne	Neon	نيون
٢٣٧ر٠٤٨٢	٩٣	Np	Neptunium	نيبتونيوم
٥٨ر٧٠	٢٨	Ni	Nickel	نيكل
٩٢ر٩٠٦٤	٤١	Nb	Niobium	نيوبيوم
١٤ر٠٠٦٧	٧	N	Nitrogen	نتروجين
(٢٥٩)	١٠٢	No	Nobelium	نوبيليوم
١٠٩ر٢	٧٦	Os	Osmium	أوسميوم
١٥ر٩٩٩٤	٨	O	Oxygen	أوكسجين
١٠٦ر٤	٤٦	Pd	Palladium	بالاديوم
٣٠ر٩٧٣٧٦	١٥	P	Phosphorus	فوسفور
١٩٥ر٠٩	٧٨	Pt	Platinum	بلاتينوم
(٢٤٤)	٩٤	Pu	Plutonium	بلوتونيوم
(٢٠٩)	٨٤	Po	Polonium	بولونيوم
٣٩ر٠٩٨٣	١٩	K	Potassium	بوتاسيوم
١٤٠ر٩٠٧٧	٥٩	Pr	Praseodymiu	براسيوديميوم
(١٤٥)	٦١	Pm	mPromethium	بروميثيوم
٢٣١ر٠٣٥٩	٩١	Pa	Protactinium	بروتاكتينيوم
٢٢٦ر٠٢٥٤	٨٨	Ra	Radium	راديوم
(٢٢٢)	٨٦	Rn	Radon	رادون
١٨٦ر٢	٧٥	Re	Rhenium	رينيوم
١٠٢ر٩٠٥٥	٤٥	Rh	Rhodium	روديوم
٨٥ر٤٦٧٨	٣٧	Rb	Rubidium	روبيديوم
١٠١ر٠٧	٤٤	Ru	Ruthenium	روثينيوم
١٥٠ر٤	٦٢	Sm	Samarium	ساماريوم
٤٤ر٩٥٥٩	٢١	Sc	Scandium	سكانديوم

٧٨٫٩٦	٣٤	Se	Selenium	سيلينيوم
٢٨٫٠٨٥٥	١٤	Si	Silicon	سيليكون
١٠٧٫٨٦٨	٤٧	Ag	Silver	فضة
٢٢٫٩٨٩٨	١١	Na	Sodium	صوديوم
٨٧٫٦٢	٣٨	Sr	Strontium	سترنشيوم
٣٢٫٠٦	١٦	S	Sulfur	كبريت
١٨٠٫٩٤٧٩	٧٣	Ta	Tantalum	تانتالوم
(٩٧)	٤٣	Tc	Technetium	تتشنيتيوم
١٢٧٫٦٠	٥٢	Te	Tellurium	تيلوريوم
١٥٨٫٩٢٥٤	٦٥	Tb	Terbium	تيربيوم
٢٠٤٫٣٧	٨١	Tl	Thallium	ثاليوم
٢٣٢٫٠٣٨١	٩٠	Th	Thorium	ثوريوم
١٦٨٫٩٣٤٢	٦٩	Tm	Thulium	ثوليوم
١١٨٫٦٩	٥٠	Sn	Tin	قصدير
٤٧٫٩٠	٢٢	Ti	Titanium	تيتانيوم
١٨٣٫٨٥	٧٤	W	Tungsten	تنجستون
٢٣٨٫٠٢٩	٩٢	U	Uranium	يورانيوم
٥٠٫٩٤١٥	٢٣	V	Vanadium	فاناديوم
١٣١٫٣٠	٥٤	Xe	Xenon	زينون
١٧٣٫٠٤	٧٠	Yb	Ytterbium	يتيربيوم
٨٨٫٩٠٥٩	٣٩	Y	Yttrium	يتيريوم
٦٥٫٣٨	٣٠	Zn	Zinc	زنك
٩١٫٢٢	٤٠	Zr	Zirconium	زيركونيوم

* صناعى أو يوجد فى الطبيعة بكميات نادرة جدا.

جدول (٢) عوامل التحويل للوحدات القياسية والوحدات غير القياسية.

لتحويل عمود ١ إلى عمود٢، اضرب فى	عمود ١ وحدات قياسية SI	عمود ٢ وحدات غير قياسية non - SI	لتحويل عمود٢ إلى عمود ١، اضرب فى
	طـــول		
٠ر٦٢١	كيلو متر، كم (١٠^{٣} م)	ميل	١ر٦٠٩
١ر٠٩٤	متر، م	ياردة	٠ر٩١٤
٣ر٢٨	متر، م	قدم	٠ر٣٠٤
٠ر١	ميكرومتر (١٠$^{-٦}$ م)	ميكرون، u	٠ر١
١٠	نانومتر (١٠$^{-٩}$ م)	أنجستروم A°	٠ر١
	مـســاحـة		
٢ر٤٧	هكتار	أيكر (فدان)	٠ر٤٠٥
٢٤٧	كيلو متر مربع (كم^{٢})	أيكر (فدان)	٤ر٠٥ × ١٠$^{-٣}$
٢ر٤٧ × ١٠$^{-٤}$	متر مربع، م^{٢}	أيكر (فدان)	٤ر٠٥ × ١٠^{٣}
	حـجـم		
٣٥ر٣	متر مكعب، م^{٣}	قدم مكعب	٢ر٨٣ × ١٠$^{-٢}$
٢ر٨٤ × ١٠$^{-٢}$	لتر (١٠$^{-٣}$ م^{٣})	بوشل	٣٥ر٢٤
٠ر٢٦٥	لتر	جالون	٣ر٧٨
٣ر٥٣ × ١٠$^{-٢}$	لتر	قدم مكعب	٢٨ر٣

	كتلة		
٢ر٢ × ١٠$^{-٣}$	جرام، جم (١٠$^{-٣}$ كجم)	رطل	٤٥٤
٢ر٢٠٥	كيلو جرام، كجم	رطل	٤٥٤ر٠
١ر١ × ١٠$^{-٣}$	كيلو جرام، كجم	طن (٢٠٠٠ رطل)	٩٠٧
١ر١٠٢	ميجا جرام (طن)، Mg	طن (أمريكى)	٩٠٧ر٠
١ر١٠٢	طن	طن (أمريكى)	٩٠٧ر
	إنتاج محصول، ومعدل إنتاج		
٨٩٣ر٠	كيلو جرام/ هكتار	رطل / أيكر	١ر١٢
٧ر٧٧ × ١٠$^{-٣}$	كجم / م٣	رطل / بوشل	١٢ر٨٧
٨٩٣	طن / هكتار	رطل / أيكر	١ر١٢ × ١٠$^{-٣}$
٨٩٣	ميجاجرام / هكتار	رطل / أيكر	١ر١٢ × ١٠$^{-٣}$
٤٤٦ر٠	ميجا جرام / هكتار	طن / أيكر	٢ر٢٤
	سطح نوعى		
١٠	م٢ / كجم	سم٢ / جم	١ر٠
١٠٠٠	م٢ / كجم	مم٢ / جم	٠٠١ر٠
	ضغط		
٩ر٩	ميجا باسكال، ١٠^{٦} Pa	ضغط جوى	١٠١ر٠
١٠	ميجا باسكال	بار	١ر٠
١ر٠	ميجا باسكال/م٢	جم / سم٢	١ر٠
	درجة حرارة		
K - ٢٧٣	المطلقة ؛ K	المئوية، °م	م + ٢٧٣
$\frac{٩}{٥}$ م + ٣٢	المئوية، °م	فهرنهيت، °ف	$\frac{٥}{٩}$ (ف - ٣٢)

		طاقة، شغل، كمية الحرارة	
٩ر٥٢ × ١٠$^{-٤}$	جول ، J	وحدة حرارية إنجليزية	١ر٠٥ × ١٠^{٣}
٠ر٢٣٩	جول	كالورى	٤ر١٩
١٠^{٧}	جول	إرج	١٠$^{-٧}$
٠ر٧٣٥	جول	رطل – قدم	١ر٣٦
١٠^{٥}	نيوتن، N	داين	١٠$^{-٥}$
١ر٤٣ × ١٠$^{-٣}$	وات (W) /م٢	كالورى/سم٢ دقيقة	٦٩٨
		نتح ، أيض	
٣ر٦ × ١٠$^{-٢}$	ملليجم / م٢ ثانية	جم/ديسم٢ ساعة	٢٧ر٨
٥ر٥٦ × ١٠$^{-٣}$	ملليجم ماء / م٢ ثانية	ميكرومول ماء/سم٢ ثانية	١٨٠
١٠$^{-٤}$	ملليجم / م٢ ثانية	ملليجم / سم٢ ثانية	١٠^{٤}
		زاوية مستوية	
٥٧ر٣	قطرية ، rad	درجة ، °	١ر٧٥ × ١٠$^{-٢}$
		توصيل كهربى، كهربية، مغناطيسية	
١٠	سيمن (S) / م	ملليموه / سم	٠ر١
١٠^{٤}	تسلا ، T	جاوس ، G	١٠$^{-٤}$
		قياس ماء	
٩ر٧٣ × ١٠^{٣}	م٣	بوصة – أيكر	١٠٢ر٨
٩ر٨١ × ١٠$^{-٣}$	م٣ / ساعة	قدم٣ / ثانية	١٠١ر٩
٤ر٤	م٣ / ساعة	جالون أمريكى/دقيقة	٠ر٢٢٧
٨ر١١	م – هكتار	قدم – أيكر	٠ر١٢٣

		تركيزات	
١	ملليمكافئ/ ١٠٠جم	سنتيمول Cmol/كجم (سعة تبادل أيونى)	١
١٠	٪	جم / كجم	٠٫١
١	أجزاء فى المليون ppm	مجم / كجم	١
		نشاط إشعاعي	
$٣٫٧ \times ١٠^{١٠}$	كيورى، Ci	بيكريل، Bq	$٢٫٧ \times ١٠^{-١}$
٣٧	بيكوكيورى pCi/جم	بيكريل / كجم	$٢٫٧ \times ١٠^{-٢}$
٠٫٠١	راد، rd	Gray, Gy (جرعة ممتصة)	١٠٠
٠٫٠١	rem (رونتجن - مكافئ - إنسان)	Sievert, Sv (جرعة مكافئة)	١٠٠
		تغذية نبات	
٠٫٤٣٧	P_2O_5	P	٢٫٢٩
٠٫٨٣٠	K_2O	K	١٫٢
٠٫٧١٥	CaO	Ca	١٫٣٩
٠٫٦٠٢	MgO	Mg	١٫٦٦

(American Society of Agronomy, Madison, WI.)

جدول (٣) المجلات والدوريات المرتبطة بعلوم البيئة.

Advances in Soil Science.
Agricultural Chemisty.
Agrochimica.
Agronomy Journal.
Ambio.
American Society of Agronomy Abstracts.
Analyst.
Analytical Chimica Acta.
Analytical Letters.
Analytical Chemistry.
Atmospheric Environment.
Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science.
Canadian Journal of Chemistry.
Canadian Journal of Soil Science.
Communications in Soil Science and Plant Analysis.
CRC Critical Review of Environmental Contamination
Crop Science.
Environmental Geology and Water Science.
Environmental Letters.
Environmental Research.
Environmental Science and Technology.
Environmental Toxicology and Chemistry.
Estuarine, Marine and Coastal Shelf Sciences.
Geochimica et Cosmochimica Acta.
Geoderma.
Geological Society of America Bulletin.
Journal of Chemical Ecology.
Journal of Chemical Education.
Journal of Environmental Quality.
Journal of Environmental Health.
Journal of Atmospheric Chemistry.

Journal of Environmental Science and Health.
Journal of Environmental Engineering (Divison of ASCE).
Journal of the Geological Society (London).
Journal of the Air Pollution Control Association.
Journal of the Association of Official Analytical Chemists.
Journal of Environmental Science Technology.
Journal of Great Lakes Research.
Journal of the Water Pollution Control Federation.
Journal of Environmental Toxicology and Contamination.
Journal of Marine Research.
Journal of the American Water Works Association.
Journal of the Indian Chemical Society.
Journal of Soil & Water Conservation.
Limnology and Oceanography.
Marine Chemistry.
Marine Environmental Chemisty.
Nature.
Science
Soil Science.
Soil Science Society of America Proceedings.
Talanta.
Water, Air, and Soil Pollution.
Water Research.
Water, Science and Technology.
Weed Science Journal.

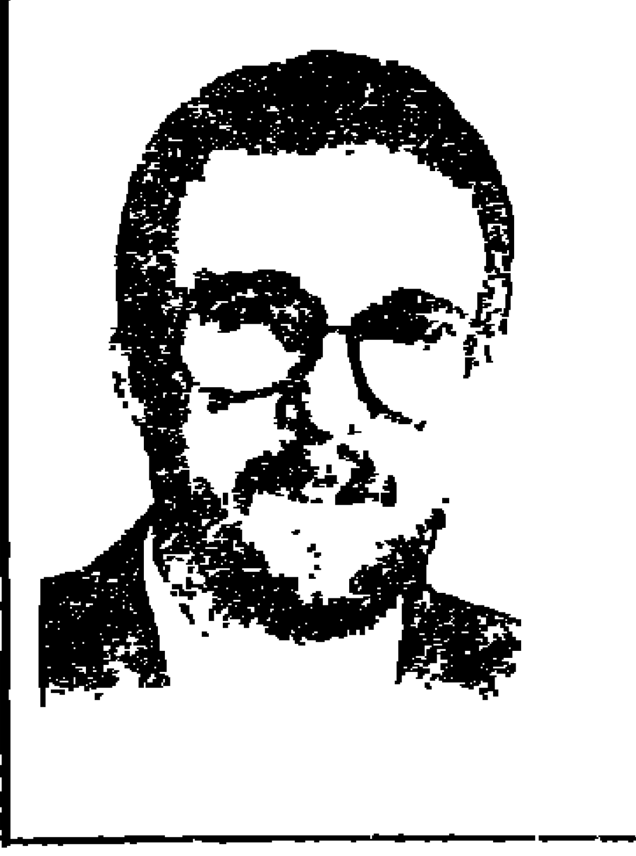
المؤلفون والمترجم فى سطور

جاري م . بيرزنسكي



حاليا، أستاذ كيمياء الأراضى والكيمياء البيئية بقسم الأجرونومي، جامعة كنساس، حصل على درجة البكالوريوس فى علوم الأراضى والمحاصيل (١٩٨٢)، وعلى درجة الماجستير فى كيمياء التربة البيئية (١٩٨٥) من قسم علوم الأراضى والمحاصيل فى جامعة ميتشجان ، وحصل على الدكتوراة فى كيمياء الأراضى (١٩٨٩) من قسم الأجرونومى، جامعة أوهيو.

وتهتم أبحاث د. بيرزنسكي بكيمياء العناصر النادرة، وعلاج الأراضى الملوثة بالعناصر النادرة، والتيسر الحيوى للفوسفور، تغذية المحاصيل المختلفة بالفوسفور والكبريت، والتخلص من المخلفات عن طريق إضافتها للأراضى، وكفاءة استخدام السماد النتروجينى. وهو عضو عامل فى اللجنة القومية لصيانة الأراضى، وتقع على عاتقها مسؤولية إعداد دليل لتقويم حالة الأراضى المختلفة ، وكذلك تقويم ممارسات الإدارة الخاصة بمواجهة الأخطار المحتملة الناتجة عن حركة الفوسفور إلى أجسام المياه ، كما يقوم بتدريس مقرر «الجودة البيئية» ، والذى كانت خلاصته نقطة البداية لهذا الكتاب، وكذلك يقوم بتدريس مقرر «مصادر العناصر الغذائية للنبات» ، وهو أيضا عضو فى كلية الموارد الطبيعية والعلوم البيئية بجامعة كنساس.

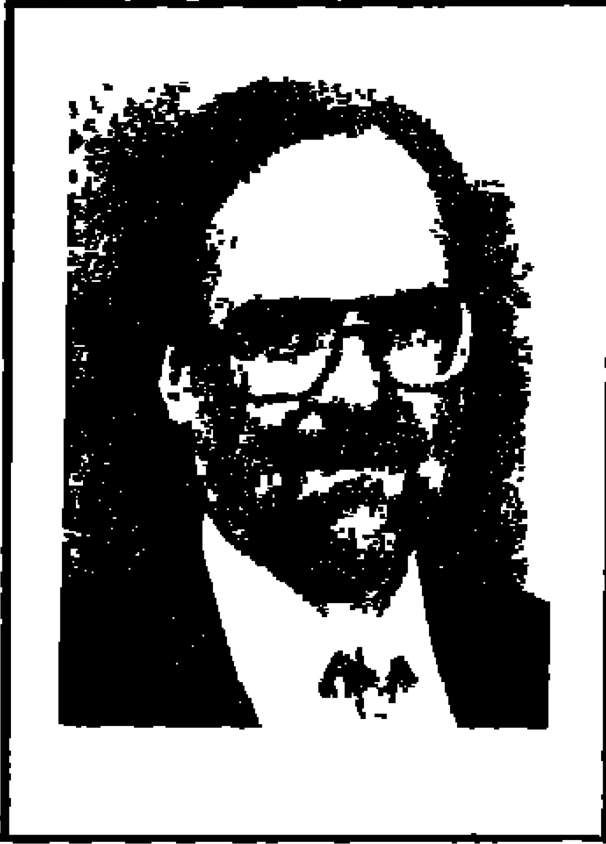


ج . توماس سمس

أستـاذ الأراضى بقسم علوم الأراضى والنبـات، جامعة ديلاوير. حصل على درجة البكالوريوس من قسم الأجرونومى (١٩٧٦) وعلى درجة الماجستير فى خصوبة الأراضى (١٩٧٩) من قسم الأجرونومى بجامعة جورجيا، وحصل على درجة الدكتوراة فى كيمياء الأراضى (١٩٨٢) من قسم علوم الأراضى والمحاصيل بجامعة ميتشجان.

د. سمس يقوم بتدريس محاضرات فى مجالات الإدارة البيئية للأراضى، وخصوبة الأراضى، وتغذية النبات (لطلبة مرحلة البكالوريوس وطلبة الدراسات العليا)، ويقوم بإجراء برنامج بحوث موجه ناحية القضايا البيئية التى تواجه الزراعة فى الولايات الشمالية الشرقية، وتركز أبحاثه على تطوير برامج إدارة النتروجين والفوسفور التى تسعى إلى تحقيق أعظم محصول وتقلل فى نفس الوقت - إلى أدنى حد - التأثيرات البيئية للأسمدة التجارية والأسمدة الحيوانية على المياه السطحية والجوفية، وله بحوث خاصة باستخدام كمبوست الحمأة، ورماد الفحم، والنواتج الثانوية الصناعية الأخرى - كمحسنات للأراضى. ومرة أخرى، تهدف أبحاثه إلى تطوير برامج سليمة للإدارة البيئية لهذه المواد، اعتماداً على تفاعلاتها فى الأراضى، وعلى تأثيراتها على نمو النبات وجودة المياه. وأثناء عمله مديرا لبرنامج اختبارات التربة فى جامعة ديلاوير، قام بتطوير وتقويم اختبارات التربة لتلائم الأغراض البيئية مثل: اختبار نترات التربة، واختبارات التربة البيئية فى الفوسفور، ونظم تصنيف الحقول فى الفوسفور، وإستراتيجيات اختبارات التربة فى العناصر الثقيلة فى الأراضى المحسّنة بالمخلفات.

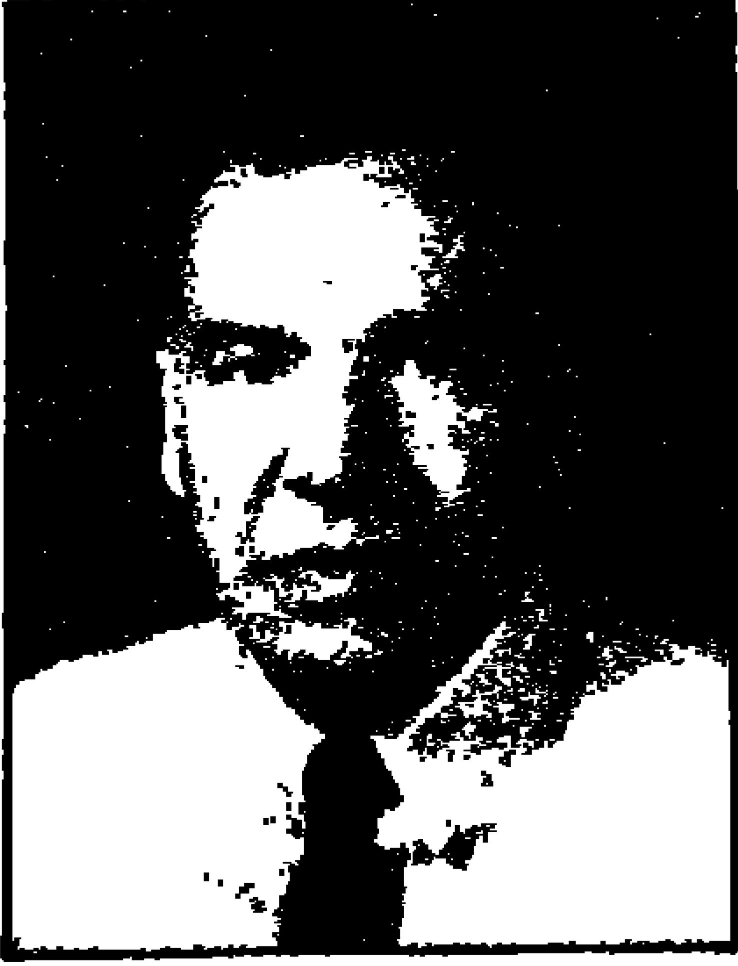
جورج ف. ڤانس



حاليا، أستاذ علوم الأراضى والبيئة فى قسم الموارد المتجددة بجامعة **Wyoming** . حصل على درجة البكالوريوس فى علوم الأراضى والمحاصيل (١٩٨١) وعلى درجة الماجستير فى البيدولوجى وكيمياء المادة العضوية فى الأراضى (١٩٨٥) من قسم علوم الأراضى والمحاصيل بجامعة ميتشجان. وحصل على درجة الدكتوراة فى كيمياء الأراضى (١٩٩٠) من قسم الأجرونومى بجامعة **Illinois**، وعُين باحثا بقسم الغابات بنفس الجامعة.

وتهتم أبحاث د. ڤانس بكيمياء السلينيوم فى النظم البيئية لأراضى المناجم وأراضى السلاسل الجبلية، وتهتم أيضا بتلوث المياه الجوفية بالملوثات غير العضوية والعضوية، وكذلك بتدوير العناصر الغذائية فى الغابات مع التركيز على الصور العضوية للعناصر الغذائية. وتشمل أيضا أبحاث د. ڤانس كيمياء مكونات المخلفات فى نظام التربة - النبات، وكذلك حركة المبيدات ومصيرها فى البيئات الجافة ونصف الجافة، ويقوم أيضا بتدريس العديد من المقررات فى جامعة **Wyoming** مثل: «الأراضى والجودة البيئية»، «كيمياء بيئة التربة»، «طرق التحليل فى أبحاث النظم البيئية»، «كيمياء المادة العضوية فى التربة». وقد ساعد بكفاءة فى تطوير المنهج الدراسى لعلم جديد فى البيئة الزراعية لطلبة مرحلة البكالوريوس فى قسم علوم النبات، والأراضى، والحشرات، وكذلك فى إنجاز برنامج اختيارى الجامعة الموسع عن الموارد الطبيعية والبيئية فى جامعة **Wyoming**. وفى نفس الوقت، تم اختيار د. ڤانس كأحد المدرسين المتميزين فى جامعة **Illinois** (١٩٨٦) لتدريسه مقرر «أساسيات الأراضى» للطلبة.

محمد السيد النته



حاليا، أستاذ كيمياء الأراضى، الرئيس السابق لقسم الأراضى كلية الزراعة جامعة عين شمس. حصل على بكالوريوس العلوم الزراعـيـة تخـصص أراضى (١٩٦٣)، وعلى الماجستير (١٩٦٧)، والدكتوراه (١٩٧٢) فى كيمياء الأراضى من كلية الزراعة جامعة عين شمس. أجرى الدراسات العلمية للدكتوراة بجامعة بارى وجامعة بيزا بإيطاليا (٦٨ - ١٩٧١). وحصل على دبلوم أجرونومى (١٩٦٩) من المركز الدولى لدراسات حوض البحر الأبيض المتوسط بإيطاليا - تدرج بسلك هيئة التدريس بقسم الأراضى بكلية الزراعة جامعة عين شمس من معيد (١٩٦٣) حتى عين أستاذاً (١٩٨٣) ثم رئيسًا للقسم (١٩٩٩ - ٢٠٠١). حصل على جائزة الدولة التشجيعية ووسام العلوم والفنون من الطبقة الأولى (١٩٨٢). عمل أستاذًا زائرًا بالجامعة الملكية للطب البيطرى والزراعة بكوبنهاجن بالدانمارك (١٩٧٥ - ١٩٧٦)، وبألمانيا الغربية ١٩٧٦. كما عمل مستشاراً بقسم الأراضى والمياه بهيئة الطاقة الذرية المصرية، وأنشأ وحدات متخصصة، وكوّن كوادر علمية بقسم الأراضى والمياه بالهيئة. أُعير لقسم علوم التربة بجامعة الملك سعود بالرياض بالسعودية (٨١ - ١٩٨٧)، وأنشأ معملاً للنظائر المشعة، وأعد برنامجاً لدرجة الماجستير بنفس القسم. عمل ممتحناً خارجياً بكلية الزراعة جامعة الخرطوم بالسودان (١٩٩٢). انتدب للتدريس بجامعة قناة السويس ومعهد الدراسات والبحوث البيئية بجامعة عين شمس.

وتهتم أبحاث د. محمد النته بكيمياء الفوسفات والعناصر النادرة فى الأراضى باستخدام النظائر المشعة، وتلوث البيئة الزراعية (التربة والمياه والنبات) بالعناصر النادرة الناتجة من استخدام مخلفات المجارى (مياه أو حمأة) والمخلفات الصناعية فى

الأغراض الزراعية، مع تركيز خاص على تلوث المياه وصلاحيتها للرى واستخدام التحليل بالتنشيط الإشعاعى فى دراسة تلوث البيئة الزراعية. ويقوم بتدريس مقررات «كيمياء الأراضى»، «استخدام النظائر المشعة فى بحوث الأراضى» لطلبة قسم الأراضى فى مرحلتى البكالوريوس والدراسات العليا، ومقرر «كيمياء المياه، وتلوثها، وصلاحيتها» لطلبة الماجستير والدكتوراه بمعهد الدراسات والبحوث البيئية بجامعة عين شمس. أشرف على حوالى ٣٥ رسالة ماجستير ودكتوراه – ونشر حوالى ٦٠ بحثاً فى المجلات الدولية والمحلية. وهو عضو فى بعض اللجان المميزة مثل: لجنة الموارد الأرضية واستصلاح الأراضى بأكاديمية البحث العلمى، واللجنة القومية للمخلفات الزراعية بوزارة الزراعة، واللجان الدائمة للترقية بمركز بحوث الصحراء وهيئة الطاقة الذرية المصرية.

المشروع القومى للترجمة

المشـروع القومـى للترجمـة مشـروع تنميـة ثقافيـة بالدرجـة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التـوازن بين المعـارف الإنسـانيـة فى المجـالات العلمـيـة والفنيـة والفكرية والإبداعية .

٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .

٤- ترجمة الأصول المعرفية التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العـمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستـعانة بكل الخبـرات العـربية وتنسيق الجـهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١- اللغة العليا (طبعة ثانية)	جون كوين	ت : أحمد درويش
٢- الوثنية والإسلام	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣- التراث المسروق	جورج جيمس	ت : شوقى جلال
٤- كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنكوفا	ت : أحمد الحضرى
٥- ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
٦- اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إفيتش	ت : سعد مصلوح / وفاء كامل فايد
٧- العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	ت : يوسف الأنطكى
٨- مشعلو الحرائق	ماكس فريش	ت : مصطفى ماهر
٩- التغيرات البيئية	أندرو س. جودى	ت : محمود محمد عاشور
١٠- خطاب الحكاية	جيرار جينيت	ت : محمد معتصم وعبد الجليل الأزدى وعمر حلى
١١- مختارات	فيسوافا شيمبوريسكا	ت : هناء عبد الفتاح
١٢- طريق الحرير	ديفيد براونيستون وايرين فرانك	ت : أحمد محمود
١٣- ديانة الساميين	روبرتسن سميث	ت : عبد الوهاب علوب
١٤- التحليل النفسى للأدب	جان بيلمان نويل	ت : حسن المودن
١٥- الحركات الفنية	إدوارد لويس سميث	ت : أشرف رفيق عفيفى
١٦- أثينة السوداء	مارتن برنال	ت: بإشراف أحمد عتمان
١٧- مختارات	فيليب لاركين	ت : محمد مصطفى بدوى
١٨- الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	ت : طلعت شاهين
١٩- الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	ت : نعيم عطية
٢٠- قصة العلم	ج. ج. كراوثر	ت: يمنى طريف الخولى / بدوى عبد الفتاح
٢١- خوخة وألف خوخة	صمد بهرنجى	ت : ماجدة العنانى
٢٢- مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	ت : سيد أحمد على الناصرى
٢٣- تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	ت : سعيد توفيق
٢٤- ظلال المستقبل	باتريك بارندر	ت : بكر عباس
٢٥- مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦- دين مصر العام	محمد حسين هيكل	ت : أحمد محمد حسين هيكل
٢٧- التنوع البشرى الخلاق	مقالات	ت : نخبة
٢٨- رسالة فى التسامح	جون لوك	ت : منى أبو سنه
٢٩- الموت والوجود	جيمس ب. كارس	ت : بدر الديب
٣٠- الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣١- مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	ت : عبد الستار الحلوجى / عبد الوهاب علوب
٣٢- الانقراض	ديفيد روس	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣- التاريخ الاقتصادى لإفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣٤- الرواية العربية	روجر آلن	ت : حصة إبراهيم المنيف
٣٥- الأسطورة والحداثة	پول . ب . ديكسون	ت : خليل كلفت

٣٦- نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	ت حياة جاسم محمد
٣٧- واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	ت جمال عبد الرحيم
٣٨- نقد الحداثة	الن تورين	ت أنور مغيث
٣٩- الإغريق والحسد	بيتر والكوت	ت منيرة كروان
٤٠- قصائد حب	آن سكستون	ت محمد عيد إبراهيم
٤١- ما بعد المركزية الأوربية	بيتر جران	ت عاطف أحمد / إبراهيم فتحى / محمود ماجد
٤٢- عالم ماك	بنجامين باربر	ت أحمد محمود
٤٣- اللهب المزدوج	أوكتافيو باث	ت المهدى أخريف
٤٤- بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	ت مارلين تادرس
٤٥- التراث المغدور	روبرت ج دنيا - جون ف أ فاين	ت أحمد محمود
٤٦- عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	ت محمود السيد على
٤٧- تاريخ النقد الأدبى الحديث (١)	رينيه ويليك	ت مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨- حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ت ماهر جويجاتى
٤٩- الإسلام فى البلقان	هـ . ت . نوريس	ت عبد الوهاب علوب
٥٠- ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	ت محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطاكى
٥١- مسار الرواية الإسبانو أمريكية	داريو بيانويبا و خ . م بينياليستى	ت محمد أبو العطا
٥٢- العلاج النفسى التدعيمى	بيتر . ن . نوفاليس وستيفن . ج . روجسيفيتز وروجر بيل	ت لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣- الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجتون	ت مرسى سعد الدين
٥٤- المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	ت محسن مصيلحى
٥٥- ما وراء العلم	چون بولكنجهوم	ت على يوسف على
٥٦- الأعمال الشعرية الكاملة (١)	فديريكو غرسية لوركا	ت محمود على مكى
٥٧- الأعمال الشعرية الكاملة (٢)	فديريكو غرسية لوركا	ت محمود السيد ، ماهر البطوطى
٥٨- مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	ت محمد أبو العطا
٥٩- المحبرة	كارلوس مونييث	ت السيد السيد سهيم
٦٠- التصميم والشكل	جوهانز ايتين	ت صبرى محمد عبد الغنى
٦١- موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور - سميث	مراجعة وإشراف محمد الجوهرى
٦٢- لذّة النّص	رولان بارت	ت محمد خير البقاعى
٦٣- تاريخ النقد الأدبى الحديث (٢)	رينيه ويليك	ت مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤- برتراند راسل (سيرة حياة)	آلان وود	ت رمسيس عوض
٦٥- فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	ت رمسيس عوض
٦٦- خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	ت عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧- مختارات	فرناندو بيسوا	ت المهدى أخريف
٦٨- نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	ت أشرف الصباغ
٦٩- العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	ت أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠- ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجث	ت عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١- السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	ت حسين محمود

-٧٢	السياسى العجوز	ت . س . إليوت	ت : فؤاد مجلى
-٧٣	نقد استجابة القارئ	چين . ب . توميكنز	ت : حسن ناظم وعلى حاكم
-٧٤	صلاح الدين والمماليك فى مصر	ل . ا . سيمينوڤا	ت : حسن بيومى
-٧٥	فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	ت : أحمد درويش
-٧٦	چاك لاكان وإغواء التحليل النفسى	مجموعة من الكتاب	ت : عبد المقصود عبد الكريم
-٧٧	تاريخ النقد الأدبى الحديث ج ٣	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
-٧٨	العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	ت : أحمد محمود ونورا أمين
-٧٩	شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكى	ت : سعيد الغانمى وناصر حلاوى
-٨٠	بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	ت : مكارم الغمرى
-٨١	الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	ت : محمد طارق الشرقاوى
-٨٢	مسرح ميجيل	ميجيل دى أونامونو	ت : محمود السيد على
-٨٣	مختارات	غوتفريد بن	ت : خالد المعالى
-٨٤	موسوعة الأدب والنقد	مجموعة من الكتاب	ت : عبد الحميد شيحة
-٨٥	منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكى أقطاى	ت : عبد الرازق بركات
-٨٦	طول الليل	جمال مير صادقى	ت : أحمد فتحى يوسف شتا
-٨٧	نون والقلم	جلال آل أحمد	ت : ماجدة العنانى
-٨٨	الابتلاء بالتغرب	جلال آل أحمد	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
-٨٩	الطريق الثالث	أنتونى جيدنز	ت : أحمد زايد ومحمد محيى الدين
-٩٠	وسم السيف	ميجل دى ثربانتس	ت : محمد إبراهيم مبروك
-٩١	المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	باربر الاسوستكا	ت : محمد هناء عبد الفتاح
-٩٢	أساليب ومضامين المسرح الإسبانوأمريكى المعاصر	كارلوس ميجل	ت : نادية جمال الدين
-٩٣	محدثات العولمة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	ت : عبد الوهاب علوب
-٩٤	الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	ت : فوزية العشماوى
-٩٥	مختارات من المسرح الإسبانى	أنطونيو بويرو باييخو	ت : سرى محمد محمد عبد اللطيف
-٩٦	ثلاث زنبقات ووردة	قصص مختارة	ت : إدوار الخراط
-٩٧	هوية فرنسا مج ١	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
-٩٨	الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى	نماذج ومقالات	ت : أشرف الصباغ
-٩٩	تاريخ السينما العالمية	ديفيد روبنسون	ت : إبراهيم قنديل
-١٠٠	مساءلة العولمة	بول هيرست وجراهام تومبسون	ت : إبراهيم فتحى
-١٠١	النص الروائى (تقنيات ومناهج)	برنار فاليط	ت : رشيد بنحدو
١٠٢	السياسة والتسامح	عبد الكريم الخطيبى	ت : عز الدين الكتانى الإدريسى
١٠٣	قبر ابن عربى يليه آياء	عبد الوهاب المؤدب	ت : محمد بنيس
-١٠٤	أوبرا ماهوجنى	برتولت بريشت	ت : عبد الغفار مكاوى
-١٠٥	مدخل إلى النص الجامع	جيرار جينيت	ت : عبد العزيز شبيل
-١٠٦	الأدب الأندلسى	د. ماريا خيسوس روبييرا متى	ت : د. أشرف على دعدور
-١٠٧	صورة الفدائى فى الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة	ت : محمد عبد الله الجعيدى

١٠٨- ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى	مجموعة من النقاد	ت : محمود على مكى
١٠٩- حروب المياه	چون بولوك وعادل درويش	ت : هاشم أحمد محمد
١١٠- النساء فى العالم النامى	حسنة بيجوم	ت : منى قطان
١١١- المرأة والجريمة	فرانسيس هيندسون	ت : ريهام حسين إبراهيم
١١٢- الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	ت : إكرام يوسف
١١٣- راية التمرد	سادى پلانت	ت : أحمد حسان
١١٤- مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنقع	وول شوينكا	ت : نسيم مجلى
١١٥- غرفة تخص المرء وحده	فرچينيا وولف	ت : سمية رمضان
١١٦- امرأة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	ت : نهاد أحمد سالم
١١٧- المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	ت : منى إبراهيم ، وهالة كمال
١١٨- النهضة النسائية فى مصر	بث بارون	ت : لميس النقاش
١١٩- النساء والأسرة وقوانين الطلاق	أميرة الأزهرى سنبل	ت : بإشراف/ رؤوف عباس
١٢٠- الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	ت : نخبة من المترجمين
١٢١- الدليل الصغير عن الكاتبات العربيات	فاطمة موسى	ت : محمد الجندى ، وإيزابيل كمال
١٢٢- نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان	جوزيف فوجت	ت : منيرة كروان
١٢٣- الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	نينل الكسندر وفنادولينا	ت: أنور محمد إبراهيم
١٢٤- الفجر الكاذب	چون جراى	ت : أحمد فؤاد بلبع
١٢٥- التحليل الموسيقى	سيدريك ثورپ ديڤى	ت : سمحه الخولى
١٢٦- فعل القراءة	ڤولڤانج إيسر	ت : عبد الوهاب علوب
١٢٧- إرهاب	صفاء فتحى	ت : بشير السباعى
١٢٨- الأدب المقارن	سوزان باسنيت	ت : أميرة حسن نويرة
١٢٩- الرواية الإسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	ت : محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠- الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندر فرانك	ت : شوقى جلال
١٣١- مصر القديمة (التاريخ الاجتماعى)	مجموعة من المؤلفين	ت : لويس بقطر
١٣٢- ثقافة العولمة	مايك فيذرستون	ت : عبد الوهاب علوب
١٣٣- الخوف من المرايا	طارق على	ت : طلعت الشايب
١٣٤- تشريح حضارة	بارى ج. كيمب	ت : أحمد محمود
١٣٥- المختار من نقد ت. س. إليوت	ت. س. إليوت	ت : ماهر شفيق فريد
١٣٦- فلاحو الباشا	كينيث كونو	ت : سحر توفيق
١٣٧- مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية	جوزيف مارى مواريه	ت . كاميليا صبحى
١٣٨- عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	إيڤلينا تارونى	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩- پارسيڤال	ريشارد ڤاجنر	ت : مصطفى ماهر
١٤٠- حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	ت : أمل الجبورى
١٤١- اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	ت : نعيم عطية
١٤٢- الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	ت : حسن بيومى
١٤٣- قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	ديريك لايدار	ت . عدلى السمرى
١٤٤- صاحبة اللوكاندة	كارلو جولدونى	ت : سلامة محمد سليمان

١٤٥- موت أرتيميو كروث	كارلوس فوينتس	ت : أحمد حسان
١٤٦- الورقة الحمراء	ميجيل دى ليبس	ت : على عبدالرؤوف البمبى
١٤٧- خطبة الإدانة الطويلة	تانكريد دورست	ت : عبدالغفار مكاوى
١٤٨- القصة القصيرة (النظرية والتقنية)	إنريكى أندرسون إمبرت	ت : على إبراهيم على منوفى
١٤٩- النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس	عاطف فضول	ت : أسامة إسبر
١٥٠- التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	ت : منيرة كروان
١٥١- هوية فرنسا مج ٢ ، ج١	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٢- عدالة الهنود وقصص أخرى	نخبة من الكتاب	ت : محمد محمد الخطابى
١٥٣- غرام الفراعنة	فيولين فانويك	ت : فاطمة عبدالله محمود
١٥٤- مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	ت : خليل كلفت
١٥٥- الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة من الشعراء	ت : أحمد مرسى
١٥٦- المدارس الجمالية الكبرى	جى أتيال وآلان وأوديت فيرمو	ت : مى التلمسانى
١٥٧- خسرو وشيرين	النظامى الكنوجى	ت : عبدالعزيز بقوش
١٥٨- هوية فرنسا مج ٢ ، ج٢	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٩- الإيديولوجية	ديفيد هوكس	ت: إبراهيم فتحى
١٦٠- آلة الطبيعة	بول إيرليش	ت: حسين بيومى
١٦١- من المسرح الإسبانى	اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	ت: زيدان عبدالحليم زيدان
١٦٢- تاريخ الكنيسة	يوحنا الأسيوى	ت: صلاح عبدالعزيز محجوب
١٦٣- موسوعة علم الاجتماع	جوردن مارشال	ت: بإشراف: محمد الجوهرى
١٦٤- شامبوليون (حياة من نور)	چان لاكوتير	ت: نبيل سعد
١٦٥- حكايات الثعلب	أ. ن أفانا سيفا	ت: سهير المصادفة
١٦٦- العلاقات بين المتدينين والعلمانيين فى إسرائيل	يشعياهو ليفمان	ت: محمد محمود أبو غدير
١٦٧- فى عالم طاغور	رابندرانات طاغور	ت: شكرى محمد عياد
١٦٨- دراسات فى الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	ت: شكرى محمد عياد
١٦٩- إبداعات أدبية	مجموعة من المبدعين	ت: شكرى محمد عياد
١٧٠- الطريق	ميغيل دليبيس	ت: بسام ياسين رشيد
١٧١- وضع حد	فرانك بيجو	ت: هدى حسين
١٧٢- حجر الشمس	مختارات	ت: محمد محمد الخطابى
١٧٣- معنى الجمال	ولتر ت. ستيس	ت:إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤- صناعة الثقافة السوداء	ايليس كاشمور	ت: أحمد محمود
١٧٥- التليفزيون فى الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	ت: وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦- نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	ت: جلال البنا
١٧٧- أنطون تشيخوف	هنرى ترويا	ت: حصة إبراهيم المنيف
١٧٨- مختارات من الشعر اليونانى الحديث	نخبة من الشعراء	ت: محمد حمدى إبراهيم
١٧٩- حكايات أيسوب	أيسوب	ت: إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠- قصة جاويد	إسماعيل فصيح	ت: سليم عبد الأمير حمدان
١٨١- النقد الأدبى الأمريكى	فنسنت ب. ليتش	ت: محمد يحيى
١٨٢- العنف والنبوءة	و.ب. ييتس	ت: ياسين طه حافظ
١٨٣- چان كوكتو على شاشة السينما	رينيه چيلسون	ت: فتحى العشرى

١٨٤- القاهرة... حالة لا تنام	هانز إبندورفر	ت دسوقى سعيد
١٨٥- أسفار العهد القديم	توماس تومسن	ت عبد الوهاب علوب
١٨٦- معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل إنوود	ت.إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧- الأرضة	بُزُرْج علوى	ت محمد علاء الدين منصور
١٨٨- موت الأدب	ألفين كرنان	ت.بدر الديب
١٨٩- العمى والبصيرة	بول دى مان	ت.سعيد الغانمى
١٩٠- محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	ت محسن سيد فرجانى
١٩١- الكلام رأسمال	الحاج أبو بكر إمام	ت. مصطفى حجازى السيد
١٩٢- رحلة إبراهيم بك جـ١	زين العابدين المراغى	ت.محمود سلامة علاوى
١٩٣- عامل المنجم	بيتر أبراهامز	ت.محمد عبد الواحد محمد
١٩٤- مختارات من النقد الأنجلو-أمريكى	مجموعة من النقاد	ت. ماهر شفيق فريد
١٩٥- شتاء ٨٤	إسماعيل فصيح	ت.محمد علاء الدين منصور
١٩٦- المهلة الأخيرة	فالتين راسبوتين	ت أشرف الصباغ
١٩٧- الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	ت جلال السعيد الحفناوى
١٩٨- الاتصال الجماهيرى	ادوين إمرى وآخرون	ت إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩- تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لانداوى	ت جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠- ضحايا التنمية	جيرمى سيبروك	ت فخرى لبيب
٢٠١- الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	ت أحمد الأنصارى
٢٠٢- تاريخ النقد الأدبى الحديث جـ٤	رينيه ويليك	ت مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣- الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالى	ت جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤- تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	ت أحمد محمود هويدى
٢٠٥- الجينات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى- سفورزا	ت أحمد مستجير
٢٠٦- الهيولية تصنع علمًا جديدًا	جيمس جلايك	ت على يوسف على
٢٠٧- ليل إفريقى	رامون خوتاسندير	ت محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٠٨- شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	ت محمد أحمد صالح
٢٠٩- السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	ت أشرف الصباغ
٢١٠- مثنويات حكيم سنائى	سنائى الغزنوى	ت يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١- فرديناند دوسوسير	جوناثان كلر	ت محمود حمدى عبد الغنى
٢١٢- قصص الأمير مرزبان	مرزبان بن رستم بن شروين	ت يوسف عبدالفتاح فرج
٢١٣- مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبدالناصر	ريمون فلاور	ت سيد أحمد على الناصرى
٢١٤- قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جيدنز	ت محمد محمود محى الدين
٢١٥ - سياحت نامه إبراهيم بيك جـ٢	زين العابدين المراغى	ت محمود سلامة علاوى
٢١٦- جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	ت أشرف الصباغ
٢١٧- مسرحيتان طليعيتان	ص. بيكيت	ت نادية البنهاوى
٢١٨ - لعبة الحجلة (رايولا)	خوليو كورتازان	ت على إبراهيم على منوفى
٢١٩- بقايا اليوم	كازو ايشجورو	ت طلعت الشايب
٢٢٠- الهيولية فى الكون	بارى باركر	ت على يوسف على
٢٢١- شعرية كفافى	جريجورى جوزدانيس	ت. رفعت سلام

٢٢٢- فرانز كافكا	رونالد جراى	ت: نسيم مجلى
٢٢٣- العلم فى مجتمع حر	بول فيرابنر	ت: السيد محمد نفادى
٢٢٤- دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	ت: منى عبدالظاهر إبراهيم السيد
٢٢٥- حكاية غريق	جابرييل جارثيا ماركث	ت: السيد عبدالظاهر السيد
٢٢٦- أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	ت: طاهر محمد على البربرى
٢٢٧- المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر	موسى ماردبا ديف بوركى	ت: السيد عبدالظاهر عبدالله
٢٢٨- علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	ت:مارى تيريز عبدالمسيح وخالد حسن
٢٢٩- مأزق البطل الوحيد	نورمان كيجان	ت: أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠- عن الذباب والفئران والبشر	فرانسواز جاكوب	ت: مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١- الدرافيل	خايمى سالوم بيدال	ت: جمال أحمد عبدالرحمن
٢٣٢- ما بعد المعلومات	توم ستينر	ت: مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٣- فكرة الاضمحلال	آرثر هومان	ت: طلعت الشايب
٢٣٤- الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	ت: فؤاد محمد عكود
٢٣٥- ديوان شمس تبريزى ج١	جلال الدين مولوى رومى	ت: إبراهيم الدسوقى شتا
٢٣٦- الولاية	ميشيل تود	ت: أحمد الطيب
٢٣٧- مصر أرض الوادى	روبين فيدين	ت: عنايات حسين طلعت
٢٣٨- العولمة والتحرير	الانكتاد	ت: ياسر محمد جادالله وعربى مدبولى أحمد
٢٣٩- العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلارافر - رايوخ	ت. نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠- الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كامى حافظ	ت: صلاح عبدالعزيز محجوب
٢٤١- فى انتظار البرابرة	ج . م كويتز	ت: ابتسام عبدالله سعيد
٢٤٢- سبعة أنماط من الغموض	وليام إمبسون	ت: صبرى محمد حسن عبدالنبى
٢٤٣- تاريخ إسبانيا الإسلامية جـ١	ليفى بروفنسال	ت: على عبدالرؤوف البمبى
٢٤٤- الغليان	لاورا إسكيبيل	ت: نادية جمال الدين محمد
٢٤٥- نساء مقاتلات	إليزابيتا أديس	ت: توفيق على منصور
٢٤٦- مختارات قصصية	جابرييل جارثيا ماركث	ت. على إبراهيم على منوفى
٢٤٧- الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر	والتر إرمبريست	ت: محمد طارق الشرقاوى
٢٤٨- حقول عدن الخضراء	أنطونيو جالا	ت: عبداللطيف عبدالحليم عبدالله
٢٤٩- لغة التمزق	دراجو شتامبوك	ت: رفعت سلام
٢٥٠- علم اجتماع العلوم	دومنيك فينيك	ت: ماجدة محسن أباظة
٢٥١- موسوعة علم الاجتماع (ج٢)	جوردن مارشال	ت: بإشراف: محمد الجوهرى
٢٥٢- رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	ت: على بدران
٢٥٣- تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيمينوڤا	ت: حسن بيومى
٢٥٤ الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥ أفلاطون	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٦- ديكارت	ديف روبنسون ، كريس جرات	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧- تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	ت محمود سيد أحمد
٢٥٨- الفجر	سير أنجوس فريزر	ت عُبادة كُحيلة
٢٥٩ - مختارات من الشعر الأرمنى عبر العصور	اقلام مختلفة	ت. فاروجان كازانجيان

٢٦٠- موسوعة علم الاجتماع ج٣	جوردن مارشال	ت: بإشراف: محمد الجوهري
٢٦١- رحلة في فكر زكي نجيب محمود	زكي نجيب محمود	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢- مدينة المعجزات	إدوارد مندوثا	ت: محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٦٣- الكشف عن حافة الزمن	جون جريبن	ت: علي يوسف علي
٢٦٤- إبداعات شعرية مترجمة	هوراس/ شلي	ت: لويس عوض
٢٦٥- روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصمويئيل جونسون	ت: لويس عوض
٢٦٦- مدير المدرسة	جلال آل أحمد	ت: عادل عبدالمنعم سويلم
٢٦٧- فن الرواية	ميلان كونديرا	ت: بدر الدين عرودكي
٢٦٨- ديوان شمس تبريزي ج٢	جلال الدين الرومي	ت: إبراهيم الدسوقي شتا
٢٦٩- وسط الجزيرة العربية وشرقها ج١	وليم چيفور بالجريف	ت: صبري محمد حسن
٢٧٠- وسط الجزير العربية وشرقها ج٢	وليم چيفور بالجريف	ت: صبري محمد حسن
٢٧١- الحضارة الغربية	توماس سي. باترسون	ت: شوقي جلال
٢٧٢- الأديرة الأثرية في مصر	س. س والترز	ت: إبراهيم سلامة
٢٧٣- الاستعمار والثورة في الشرق الأوسط	جوان أر. لوك	ت: عنان الشهاوي
٢٧٤- السيدة باربارا	رومولو جالاجوس	ت: محمود مكي
٢٧٥- ت. س إليوت شاعرا وناقدا وكاتبا مسرحيا	أقلام مختلفة	ت. ماهر شفيق فريد
٢٧٦- فنون السينما	فرانك جوتيران	ت: عبد القادر التلمساني
٢٧٧- الجينات: الصراع من أجل الحياة	بريان فورد	ت: أحمد فوزي
٢٧٨- البدايات	إسحق عظيموف	ت: ظريف عبدالله
٢٧٩- الحرب الباردة الثقافية	ف.س. سوندرز	ت: طلعت الشايب
٢٨٠- من الأدب الهندي الحديث والمعاصر	بريم شند وآخرون	ت: سمير عبدالحميد
٢٨١- الفردوس الأعلى	مولانا عبد الحليم شرر الكهنوي	ت: جلال الحفناوي
٢٨٢- طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس ولبيرت	ت: سمير حنا صادق
٢٨٣- السهل يحترق	خوان رولفو	ت: علي البمبي
٢٨٤- هرقل مجنونا	يوريبيدس	ت: أحمد عتمان
٢٨٥- رحلة الخواجة حسن نظامي	حسن نظامي	ت: سمير عبد الحميد
٢٨٦- رحلة إبراهيم بك ج٢	زين العابدين المراغي	ت: محمود سلامة علاوي
٢٨٧- الثقافة والعولمة والنظام العالمي	انتوني كنج	ت: محمد يحيى وآخرون
٢٨٨- الفن الروائي	ديفيد لودج	ت: ماهر البطوطي
٢٨٩- ديوان منجوهري الدامغاني	أبو نجم أحمد بن قوص	ت: محمد نور الدين عبدالمنعم
٢٩٠- علم اللغة والترجمة	جورج مونان	ت. أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١- المسرح الإسباني في القرن العشرين ج١	فرانشسكو رويس رامون	ت. السيد عبد الظاهر
٢٩٢- المسرح الإسباني في القرن العشرين ج٢	فرانشسكو رويس رامون	ت. السيد عبد الظاهر
٢٩٣- مقدمة للأدب العربي	روجر آلان	ت. نخبة من المترجمين
٢٩٤- فن الشعر	بوالو	ت رجاء ياقوت صالح
٢٩٥- سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل	ت بدر الدين حب الله الديب
٢٩٦- مكبث	وليم شكسبير	ت محمد مصطفى بدوي
٢٩٧- فن النحو بين اليونانية والسريانية	ديونيسيوس ثراكس - يوسف الأهوازي	ت: ماجدة محمد أنور

٢٩٨- مأساة العبيد	أبو بكر تفاوابليوه	ت: مصطفى حجازى السيد
٢٩٩- ثورة التكنولوجيا الحيوية	جين ل. ماركس	ت: هاشم أحمد فؤاد
٣٠٠- أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى مج١	لويس عوض	ت: جمال الجزيرى وبهاء چاهين وإيزابيل كمال
٣٠١- أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى مج٢	لويس عوض	ت: جمال الجزيرى و محمد الجندى
٣٠٢- فنجنشتين	جون هيتون وجودى جروفز	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٣- بوذا	جين هوب وبورن فان لون	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤- ماركس	ريوس	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥- الجلد	كروزيو مالابارته	ت: صلاح عبد الصبور
٣٠٦- الحماسة - النقد الكانطى للتاريخ	چان - فرانسوا ليوتار	ت: نبيل سعد
٣٠٧- الشعور	ديفيد بابينو	ت: محمود محمد أحمد
٣٠٨- علم الوراثة	ستيف جونز	ت: ممدوح عبد المنعم أحمد
٣٠٩- الذهن والمخ	أنجوس چيلاتى	ت: جمال الجزيرى
٣١٠- يونج	ناجى هيد	ت: محيى الدين محمد حسن
٣١١- مقال فى المنهج الفلسفى	كولنجوود	ت: فاطمة إسماعيل
٣١٢- روح الشعب الأسود	وليم دى بويز	ت:أسعد حليم
٣١٣- أمثال فلسطينية	خايير بيان	ت: عبدالله الجعيدى
٣١٤- الفن كعدم	جينس مينيك	ت: هويدا السباعى
٣١٥- جرامشى فى العالم العربى	ميشيل بروندينو	ت: كاميليا صبحى
٣١٦- محاكمة سقراط	أ.ف. ستون	ت: نسيم مجلى
٣١٧- بلا غد	شير لايموفا- زنيكين	ت: أشرف الصباغ
٣١٨- الأدب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة	نخبة	ت: أشرف الصباغ
٣١٩- صور دريدا	جايتر ياسبيفاك وكرستوفر نوريس	ت: حسام نايل
٣٢٠- لمة السراج فى حضرة التاج	مؤلف مجهول	ت: محمد علاء الدين منصور
٣٢١- تاريخ إسبانيا الإسلاميةج٢	ليفى برو فنسال	ت: نخبة من المترجمين
٣٢٢- وجهات غربية حديثة فى تاريخ الفن	دبليو يوجين كلينباور	ت: خالد مفلح حمزه
٣٢٣- فن الساتورا	تراث يونانى قديم	ت: هانم سليمان
٣٢٤- اللعب بالنار	أشرف أسدى	ت: محمود سلامة علاوى
٣٢٥- عالم الآثار	فيليب بوسان	ت: كرستين يوسف
٣٢٦- المعرفة والمصلحة	جورجين هابرماس	ت: حسن صقر
٣٢٧- مختارات شعرية مترجمة	نخبة	ت: توفيق على منصور
٣٢٨- يوسف وزليخا	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	ت: عبد العزيز بقوش
٣٢٩- رسائل عيد الميلاد	تد هيوز	ت: محمد عيد إبراهيم
٣٣٠- كل شىء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	ت: سامى صلاح
٣٣١- عندما جاء السردين	ستيفن جراى	ت: سامية دياب
٣٣٢- القصة القصيرة فى إسبانيا	نخبة	ت: على إبراهيم على منوفي
٣٣٣- الإسلام فى بريطانيا	نبيل مطر	ت: بكر عباس

٢٢٤- لقطات من المستقبل	آرثر س كلارك	ت مصطفى فهمى
٢٢٥- عصر الشك	ناتالى ساروت	ت فتحى العشرى
٢٢٦- متون الأهرام	نصوص قديمة	ت حسن صابر
٢٢٧- فلسفة الولاء	جوزايا رويس	ت أحمد الأنصارى
٢٢٨- نظرات حائرة (وقصص أخرى من الهند)	نخبة	ت جلال السعيد الحفناوى
٢٢٩- تاريخ الأدب فى إيران جـ٣	على أصغر حكمت	ت محمد علاء الدين منصور
٢٤٠- اضطراب فى الشرق الأوسط	بيرش بيربيروجاو	ت فخرى لبيب
٢٤١- قصائد من رلكه	راينر ماريا رلكه	ت حسن حلمى
٢٤٢- سلامان وأبسال	نور الدين عبدالرحمن بن أحمد	ت عبد العزيز بقوش
٢٤٣- العالم البرجوازى الزائل	نادين جورديمر	ت سمير عبد ربه
٢٤٤- الموت فى الشمس	بيتر بلانجوه	ت سمير عبد ربه
٢٤٥- الركض خلف الزمن	بونه ندائى	ت يوسف عبد الفتاح فرج
٢٤٦- سحر مصر	رشاد رشدى	ت جمال الجزيرى
٢٤٧- الصبية الطائشون	جان كوكتو	ت بكر الحلو
٢٤٨- المتصوفة الأولون فى الأدب التركى جـ١	محمد فؤاد كوبريلى	ت عبدالله أحمد إبراهيم
٢٤٩- دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	ارثر والدرون وآخرون	ت أحمد عمر شاهين
٢٥٠- بانوراما الحياة السياحية	أقلام مختلفة	ت عطية شحاتة
٢٥١- مبادئ المنطق	جوزايا رويس	ت أحمد الانصارى
٢٥٢- قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	ت نعيم عطية
٢٥٣- الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة الهندسية)	باسيليو بابون مالدوناند	ت على إبراهيم على منوفى
٢٥٤- الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة النباتية)	باسيليو بابون مالدوناند	ت على إبراهيم على منوفى
٢٥٥- التيارات السياسية فى إيران	حجت مرتضى	ت محمود سلامة علاوى
٢٥٦- الميراث المر	بول سالم	ت بدر الرفاعى
٢٥٧- متون هيرميس	نصوص قديمة	ت عمر الفاروق عمر
٢٥٨- أمثال الهوسا العامية	نخبة	ت مصطفى حجازى السيد
٢٥٩- محاورات بارمنيدس	أفلاطون	ت حبيب الشارونى
٢٦٠- أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونوبلا باركان	ت ليلى الشربينى
٢٦١- التصحر: التهديد والمجابهة	آلان جرينجر	ت عاطف معتمد وآمال شاور
٢٦٢- تلميذ بابنبيرج	هاينرش شبورال	ت سيد أحمد فتح الله
٢٦٣- حركات التحرير الأفريقية	ريتشارد جيبسون	ت صبرى محمد حسن
٢٦٤- حداثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	ت نجلاء أبو عجاج
٢٦٥- سأم باريس	شارل بودلير	ت محمد أحمد حمد
٢٦٦- نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	ت مصطفى محمود محمد
٢٦٧- القلم الجرىء	نخبة	ت البراق عبدالهادى رضا
٢٦٨- المصطلح السردى	جيرالد برنس	ت عابد خزندار
٢٦٩- المرأة فى أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	ت فوزية العشماوى
٢٧٠- الفن والحياة فى مصر الفرعونية	كليرلا لويت	ت فاطمة عبدالله محمود
٢٧١- المتصوفة الأولون فى الأدب التركى ج٢	محمد فؤاد كوبريلى	ت عبدالله أحمد إبراهيم

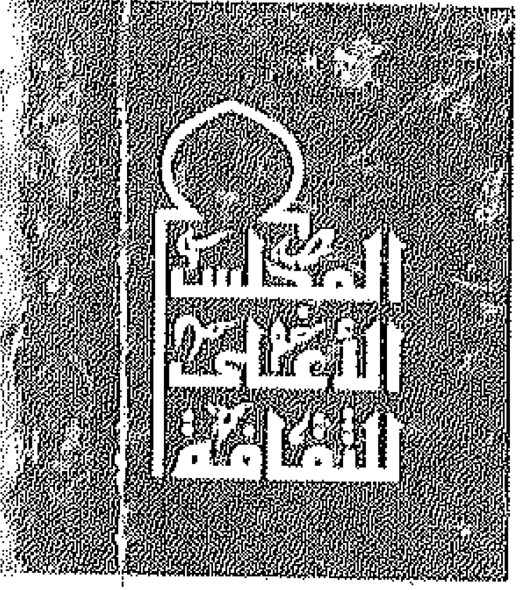
٣٧٢- عاش الشباب	وانغ مينغ	ت: وحيد السعيد عبدالحميد
٣٧٣- كيف تعد رسالة دكتوراه	أمبرتو إيكو	ت: على إبراهيم على منوفى
٣٧٤- اليوم السادس	أندريه شديد	ت: حمادة إبراهيم
٣٧٥- الخلود	ميلان كونديرا	ت: خالد أبو اليزيد
٣٧٦- الغضب وأحلام السنين	نخبة	ت: إدوار الخراط
٣٧٧- تاريخ الأدب فى إيران جـ٤	على أصغر حكمت	ت: محمد علاء الدين منصور
٣٧٨- المسافر	محمد إقبال	ت: يوسف عبدالفتاح فرج
٣٧٩- ملك فى الحديقة	سنيل باث	ت: جمال عبدالرحمن
٣٨٠- حديث عن الخسارة	جونتر جراس	ت: شيرين عبدالسلام
٣٨١- أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	ت: رانيا إبراهيم يوسف
٣٨٢- تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	ت: أحمد محمد نادى
٣٨٣- هدية الحجاز	محمد إقبال	ت: سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٨٤- القصص التى يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	ت: إيزابيل كمال
٣٨٥- مشترى العشق	محمد على بهزادراد	ت: يوسف عبدالفتاح فرج
٣٨٦- دفاعًا عن التاريخ الأدبى النسوى	جانيت تود	ت: ريهام حسين إبراهيم
٣٨٧- أغنيات وسوناتات	چون دن	ت: بهاء چاهين
٣٨٨- مواعظ سعدى الشيرازى	سعدى الشيرازى	ت: محمد علاء الدين منصور
٣٨٩- من الأدب الباكستانى المعاصر	نخبة	ت: سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٩٠- الأرشيفات والمدن الكبرى	نخبة	ت: عثمان مصطفى عثمان
٣٩١- الحافلة الليلكية	مايف بينشى	ت: منى الدروبى
٣٩٢- مقامات ورسائل أندلسية	نخبة	ت: عبداللطيف عبدالحليم
٣٩٣- فى قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	ت: نخبة
٣٩٤- القوى الأربع الأساسية فى الكون	بول ديفيز	ت: هاشم أحمد محمد
٣٩٥- الام سياوش	إسماعيل فصيح	ت: سليم حمدان
٣٩٦- السافاك	تقى نجارى راد	ت: محمود سلامة علاوى
٣٩٧- نيتشه	لورانس جين	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٨- سارتر	فيليب تودى	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٩- كامى	ديفيد ميروفتس	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٠٠- مومو	ميشائيل إنده	ت: باهر الجوهرى
٤٠١- الرياضيات	زيادون ساردر	ت: ممدوح عبد المنعم
٤٠٢- هوكنج	ج. ب. ماك ايفوى	ت: ممدوح عبدالمنعم
٤٠٣- ربة المطر والملابس تصنع الناس	تودور شتورم	ت: عماد حسن بكر
٤٠٤- تعويذة الحسى	ديفيد إبرام	ت: ظبية خميس
٤٠٥- إيزابيل	أندريه جيد	ت: حمادة إبراهيم
٤٠٦- المستعربون الإسبان فى القرن ١٩	مانويلا مانتاناريس	ت: جمال أحمد عبد الرحمن
٤٠٧- الأدب الإسبانى المعاصر بأقلام كتابه	أقلام مختلفة	ت: طلعت شاهين
٤٠٨- معجم تاريخ مصر	جوان فوشركنج	ت: عنان الشهاوى
٤٠٩- انتصار السعادة	برتراند راسل	ت: إلهامى عمارة

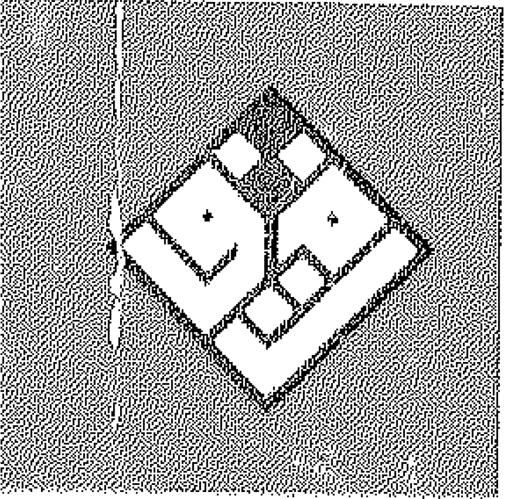
٤١٠- خلاصة القرن	كارل بوبر	ت. الزواوى بغورة
٤١١- همس من الماضى	جينيفر أكرمان	ت: أحمد مستجير
٤١٢- تاريخ إسبانيا الإسلامية جـ٢	ليفى بروفنسال	ت. نخبة
٤١٣- أغنيات المنفى	ناظم حكمت	ت. محمد البخارى
٤١٤- الجمهورية العالمية للآداب	باسكال كازانوفا	ت: أمل الصبان
٤١٥- صورة كوكب	فريدريش دورنيمات	ت: أحمد كامل عبدالرحيم
٤١٦- مبادئ النقد الأدبى والعلم والشعر	أ. أ. رتشاردز	ت مصطفى بدوى
٤١٧- تاريخ النقد الأدبى الحديث جـ٥	رينيه ويليك	ت: مجاهد عبدالمنعم مجاهد
٤١٨- سياسات الزمر الحاكمة فى مصر العثمانية	جين هاثواى	ت: عبد الرحمن الشيخ
٤١٩- العصر الذهبى للإسكندرية	جون مايو	ت: نسيم مجلى
٤٢٠- مكرو ميجاس	فولتير	ت: الطيب بن رجب
٤٢١- الولاء والقيادة	روى متحدة	ت: أشرف محمد كيلانى
٤٢٢- رحلة لاستكشاف أفريقيا ج١	نخبة	ت. عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٤٢٣- إسراءات الرجل الطيف	نخبة	ت: وحيد النقاش
٤٢٤- لوائح الحق ولوامع العشق	نور الدين عبدالرحمن الجامى	ت: محمد علاء الدين منصور
٤٢٥- من طاووس إلى فرح	محمود طلوعى	ت: محمودد سلامة علاوى
٤٢٦- الخفافيش وقصص أخرى	نخبة	ت محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٢٧- بانديراس الطاغية	باى إنكلان	ت: ثريا شلبى
٤٢٨- الخزانة الخفية	محمد هوتك	ت. محمد أمان صافى
٤٢٩- هيجل	ليود سبنسر وأندرزجى كروز	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٠- كانط	كرستوفر وانت وأندزجى كليموفسكى	ت. إمام عبدالفتاح إمام
٤٣١- فوكو	كريس هوروكس وزوران جفتيك	ت إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٢- ماكيافللى	باتريك كيرى وأوسكار زاريت	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٣- جويس	ديفيد نوريس وكارل فلنت	ت: حمدى الجابرى
٤٣٤- الرومانسية	دونكان هيث وجودى بورهام	ت: عصام حجازى
٤٣٥- توجهات ما بعد الحداثة	نيكولاس زربرج	ت: ناجى رشوان
٤٣٦- تاريخ الفلسفة (مج١)	فردريك كوبلستون	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٧- رحالة هندى فى بلاد الشرق	شبلى النعمانى	ت. جلال السعيد الحفناوى
٤٣٨- بطلات وضحايا	إيمان ضياء الدين بيبرس	ت عايدة سيف الدولة
٤٣٩- موت المرابى	صدر الدين عينى	ت محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٤٠- قواعد اللهجات العربية	كرستن بروستاد	ت: محمد الشرقاوى
٤٤١- رب الأشياء الصغيرة	أروندهاتى روى	ت فخرى لبيب
٤٤٢- حتشبسوت (المرأة الفرعونية)	فوزية أسعد	ت ماهر جويجاتى
٤٤٣- اللغة العربية	كيس فرستيغ	ت محمد الشرقاوى
٤٤٤- أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة	لاوريت سيجورنه	ت. صالح علمانى
٤٤٥- حول وزن الشعر	پرويز ناتل خانلرى	ت. محمد محمد يونس
٤٤٦- التحالف الأسود	ألكسندر كوكبرن وجيفرى سانت كلير	ت أحمد محمود
٤٤٧- نظرية الكم	ج. پ. ماك إيفوى	ت ممدوح عبدالمنعم

٤٤٨- علم نفس التطور	ديلان إيفانز - أوسكار زاريت	ت: ممدوح عبدالمنعم
٤٤٩- الحركة النسائية	مجموعة	ت: جمال الجزيرى
٤٥٠- ما بعد الحركة النسائية	صوفيا فوكا - ريبيكا رايت	ت: جمال الجزيرى
٤٥١- الفلسفة الشرقية	ريتشارد أوزبورن - بورن ڤان لون	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٢- لينين والثورة الروسية	ريتشارد إيجناترى - أوسكار زاريت	ت: محى الدين مزيد
٤٥٣- القاهرة: إقامة مدينة حديثة	جان لوك أرنو	ت: حليم طوسون وفؤاد الدهان
٤٥٤- خمسون عاماً من السينما الفرنسية	رينيه بريدال	ت: سوزان خليل
٤٥٥- تاريخ الفلسفة الحديثة (مج٥)	فردريك كوبلستون	ت: محمود سيد أحمد
٤٥٦- لا تنسنى	مريم جعفرى	ت: هويدا عزت محمد
٤٥٧- النساء فى الفكر السياسى الغربى	سوزان موللر أوكين	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٥٨- الموريسكيون الأندلسيون	خوليو كارو باروخا	ت: جمال عبد الرحمن
٤٥٩- نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتنبرج	ت: جلال البنا
٤٦٠- الفاشية والنازية	ستوارت هود- ليتزا جانستز	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٦١- لكأن	داريان ليدر- جودى جروفز	ت: إمام عبدالفتاح إمام
٤٦٢- طه حسين من الأزهر إلى السوربون	عبدالرشيد الصادق محمودى	ت: عبدالرشيد الصادق محمودى
٤٦٣- الدولة المارقة	ويليام بلوم	ت: كمال السيد
٤٦٤- ديمقراطية القلة	ميكائيل بارنتى	ت: حصة منيف
٤٦٥- قصص اليهود	لويس جنزبرج	ت: جمال الرفاعى
٤٦٦- حكايات حب وبطولات فرعونية	فيولين فانويك	ت: فاطمة محمود
٤٦٧- التفكير السياسى	ستيفين ديلو	ت: ربيع وهبة
٤٦٨- روح الفلسفة الحديثة	جوزايا رويس	ت: أحمد الأنصارى
٤٦٩- جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	ت: مجدى عبدالرازق
٤٧٠- الأراضى والجودة البيئية	نخبة	ت: محمد السيد النة

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ١٣٩٧٠ / ٢٠٠٢





SOILS AND ENVIRONMENTAL QUALITY

Gary M. Pierzynski
J.Thomas Sims
George F. Vance

تعتبر جودة البيئة التى نعيش فيها محصلة لكل من الظواهر الطبيعية ونشاط الإنسان، وتمثل الأراضى حلقة التداخل بين نشاط الإنسان ومكونات البيئة التى نرغب فى الإبقاء أو المحافظة عليها، وعلى ذلك يعتبر فهم خواص الأراضى وتفاعلاتها مهمًا فى تقويم كيفية سلوك الملوثات العديدة والعناصر المغذية الضرورية فى بيئة التربة، وتلعب الأراضى دورًا مهمًا فى ذلك التقويم، كما تلعب الأراضى أيضًا دورًا مهمًا فى تحديد جودة البيئة؛ حيث يمكن أن تكون مصدرًا للعديد من الملوثات، أو بالوعةً لها، أو وسطا للتفاعل معها. وبالتالى فإن الإدارة السليمة للأراضى تمثل خطوة فى المحافظة على جودة البيئة وتحسينها. ومن هنا كانت أهمية هذا الكتاب، كما يُعدّ من أفضل المراجع - إن لم يكن أهمها - فى مجال «الأراضى والجودة البيئية».

ويعطى الكتاب فكرة شاملة عن علم الأراضى، والهيدرولوجى، وكيمياء الغلاف الجوى، وتصنيف الملوثات. ويتبع ذلك مناقشات مستفيضة عن دور الأراضى فى التدوير البيوجيوكيميائى للعناصر الكبرى والمركبات البيئية المعنية مثل: التروجين، والفوسفور، والكبريت، والعناصر النادرة، والكيماويات العضوية، وغازات الصوبة، كما يناقش أيضا الترسيب الحامضى، ويذكر التفاعلات بين هذه الملوثات الخطيرة فى كل من الأراضى، والبيئة المائية، والغلاف الجوى.

الغلاف أمين الصيرفي

